Holzschnitte
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

Lehrbuch

der

Physik und Meteorologie.

Theilweise nach

Pouillet's Lehrbuch der Physik

selbständig bearbeitet

von

Dr. Joh. Müller,

Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

Fünfte umgearbeitete und vermehrte Auflage.

In zwei Bänden.

Mit circa 1500 in den Text eingedruckten Holzschnitten, farbigen und schwarzen Kupfertafeln.

Zweiter Band.

Braunschweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1857.

Lehrbuch

der

Physik und Meteorologie.

Von

Dr. Joh. Müller,

Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

Fünfte umgearbeitete und vermehrte Auflage.

In zwei Bänden.

Mit circa 1500 in den Text eingedruckten Holzschnitten, farbigen und schwarzen Kupfertafeln.

Zweiter Band.

Braunschweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1857.

Inhaltsverzeichniß

des zweiten Bandes.

Viertes Buch.

Die elektrischen Erscheinungen.

Erstes Capitel.

Vom Magnetismus.

Zweites Capitel.

Die Phänomene der elektrischen Spannung.

Drittes Capitel.

Der elektrische Strom und seine Wirkungen auf die durchströmten Körper.

Viertes Capitel.

Elektromagnetismus und Elektrodynamik.

Fünftes Capitel.

Inductionserscheinungen.

Fünftes Buch.

Von der Wärme.

Erstes Capitel.

Ausdehnung durch die Wärme.

Zweites Capitel.

Veränderung des Aggregatzustandes.

Drittes Capitel.

Specifische Wärme der Körper.

Viertes Capitel.

Fortpflanzung der Wärme.

Fünftes Capitel.

Die Quellen der Wärme.

Sechstes Buch.

Meteorologie.

Erstes Capitel.

Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche.

Zweites Capitel.

Die Atmosphäre, ihr Druck und ihre Strömungen.

Drittes Capitel.

Von der atmosphärischen Feuchtigkeit.

Viertes Capitel.

Optische Erscheinungen der Atmosphäre.

Fünftes Capitel.

Von der atmosphärischen Elektricität und dem Erdmagnetismus.

Viertes Buch.

Die elektrischen Erscheinungen.

Erstes Capitel.

Vom Magnetismus.

Anziehung des Eisens durch Magnete. Unter den verschiedenen 1
Eisenerzen giebt es eines, welches, aus gleichen Aequivalenten Eisenoxyd und Eisenoxydul zusammengesetzt, mit dem Namen Magneteisen oder Magneteisenstein bezeichnet wird. Hier und da findet man Stücke dieses Magneteisensteines, welche die Eigenschaft haben, Eisen anzuziehen, was man ganz einfach daran erkennt, daß Eisenfeile oder, wenn sie kräftiger sind, auch kleinere Eisenstücke, wie z. B. Drahtstifte, an ihnen hängen bleiben.

Schon den Alten war diese Erscheinung bekannt, und sie nannten solche Eisen anziehende Steine Magnete, weil sie diese auffallende Eigenschaft zuerst an Eisenerzen wahrgenommen hatten, welche in der Nähe der Stadt Magnesia gefunden wurden.

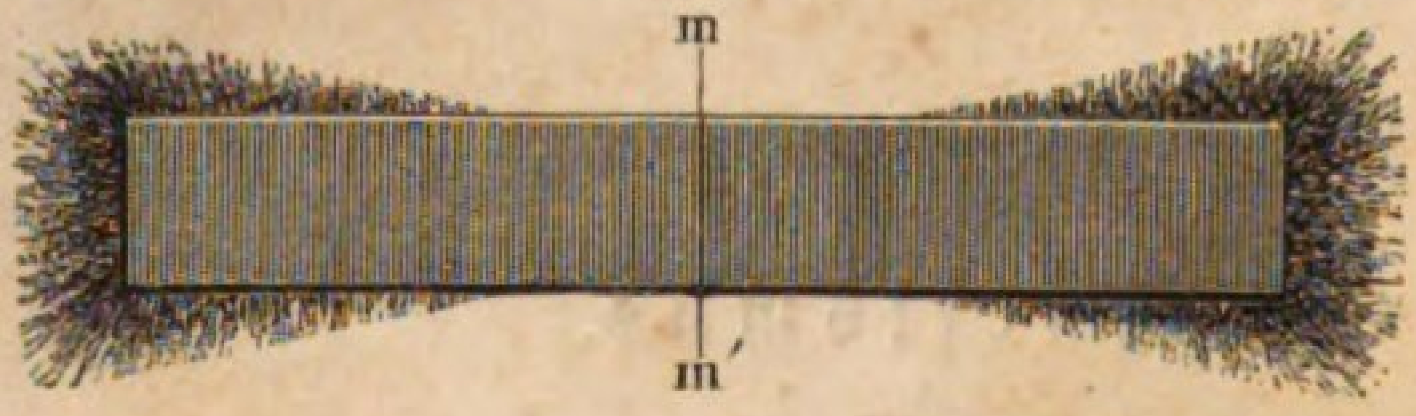
Solche Stücke Eisenerz, welche von Natur die Eigenschaft haben, Eisen anzuziehen, nennt man natürliche Magnete; allein nicht jedes Stück Eisenerz der oben angegebenen chemischen Zusammensetzung ist von Natur magnetisch; ja das Magneteisen ist nur ausnahmsweise von Natur magnetisch, wohl aber kann man es fast durchgängig durch verschiedene Methoden, welche später näher beschrieben werden sollen, magnetisch machen.

Ebenso wie den Magneteisenstein kann man auch den Stahl bleibend magnetisch machen, was den großen Vortheil gewährt, daß man solche künstliche Magnete von beliebiger Gestalt machen kann, wie es eben für die verschiedenen Versuche am vortheilhaftesten ist.

Auf den ersten Anblick scheint es, als ob ein Magnet das Eisen in ähnlicher Weise anzöge, wie die Erde jeden schweren Körper anzieht. Dies ist aber nicht der Fall; die Schwerkraft ist auf allen Punkten der Erdoberfläche nahezu gleich stark, an jedem Magneten dagegen finden sich zwei Stellen, für welche die Anziehung ein Maximum ist, während zwischen denselben eine andere Stelle gefunden wird, welche gar keine anziehende Wirkung auf Eisen zeigt.

Um dies zu zeigen, wälze man einen Magneten in Eisenfeilspähnen herum; beim Herausnehmen wird man dann sehen, wie diese an einzelnen Stellen hängen bleiben und an anderen abfallen; bei natürlichen Magneten zeigt sich diese Erscheinung wegen der meist unregelmäßigen Gestalt derselben weniger deutlich als bei künstlichen Magneten, denen man zu diesem Zweck am besten die Gestalt eines Stabes giebt. An einem regelmäßig magnetisirten Stahlstab bleibt die Eisenfeile vorzugsweise an den beiden Enden hängen, wie dies Fig. 1 darstellt, während sie in der Mitte ganz abfällt. Die beiden Enden des Magneten, von welchen das Eisen am kräftigsten angezogen wird, heißen die **magnetischen Pole**; diejenige rings um den Magnetstab herumlaufende Linie aber, in welcher man keine magnetische Wirkung beobachtet, wird die **Mittellinie** genannt.

Fig. 1.



Sehr schön zeigt sich die stärkere magnetische Wirkung der Pole auch, wenn man einen Magnetstab mit einem Papierblatt bedeckt und Eisenfeile darauf siebt.

2 **Magnetische Polarität.** Die beiden Pole eines Magneten sind keineswegs von gleicher Natur, sondern sie zeigen ein durchaus entgegengesetztes Verhalten gegen einen und denselben Pol eines zweiten Magneten. Um sich davon zu überzeugen, hänge man nur einen Magnetstab so auf, daß seine Längenaxe eine horizontale Linie bildet und er sich in horizontaler Ebene frei drehen kann, wie dies z. B. bei dem Magneten Fig. 2 der Fall ist, welcher, in einer Hülse von Papier oder Metall liegend, an einem ungedrehten Faden aufgehängt ist. Noch bequemer zu diesen Versuchen sind **Magnetnadeln**, welche gewöhnlich die Gestalt einer lang gestreckten Raute haben und in der Mitte mit einem Hütchen von Stahl oder Achat versehen sind, welches auf eine Stahlspitze aufgesetzt wird, wie man Fig. 3 sieht.

Fig. 2.

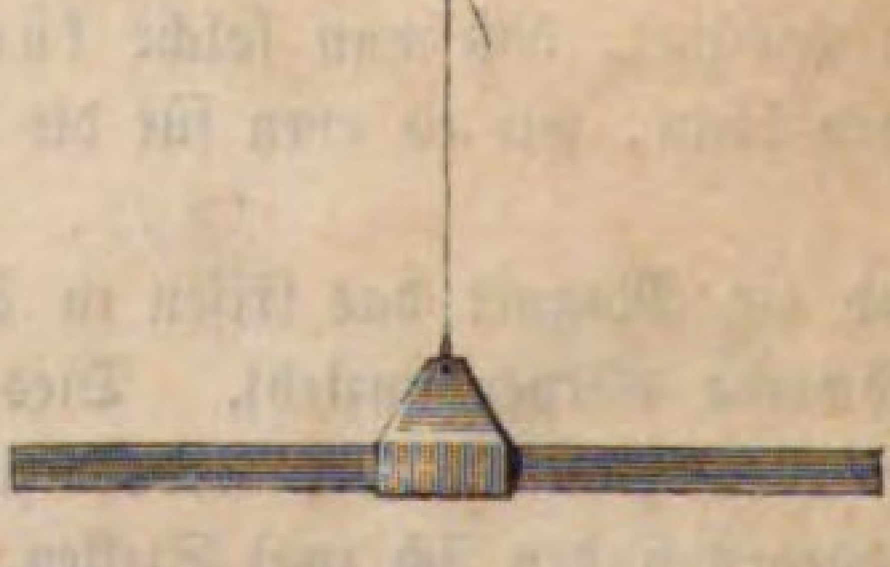


Fig. 3.



Nähert man nun einen und denselben Pol eines Magnetstabes, den wir mit A bezeichnen wollen, zuerst dem Pole n der Nadel, Fig. 3, dann dem Pole s, so sieht man, wie der eine dieser Pole angezogen, der andere aber abgestoßen wird, die beiden Pole n und s der Magnetnadel zeigen also ein entgegengesetztes Verhalten gegen den genäherten Pol des Magnetstabes.

Um zu untersuchen, wie sich die *gleichnamigen Pole* zweier Magnete, d. h. diejenigen Pole, welche gegen einen und denselben Pol A eines dritten Magneten gleiches Verhalten zeigen, gegen einander verhalten, stelle man zwei Magnetnadeln von der in Fig. 3 dargestellten Art einige Fuß von einander entfernt auf, damit ihre gegenseitige Einwirkung nicht störend wirke, bestimme an jeder dieser beiden Nadeln denjenigen Pol, welcher durch denselben Pol A eines genäherten Magnetstabes angezogen wird, und bezeichne die auf diese Weise als gleichartig (gleichnamig) erkannten Pole auf irgend eine Weise, etwa durch einen Punkt von rother Farbe.

Wenn man nun den Magnetstab entfernt, die eine Nadel von ihrer Spitze abhebt und ihren gezeichneten Pol dem gezeichneten Pol der anderen, noch auf ihrer Spitze spielenden Nadel nähert, so zeigt sich, daß die beiden gezeichneten Pole einander abstoßen; dagegen wird man finden, daß der gezeichnete Pol der einen Nadel den ungezeichneten der anderen anzieht, und so ergiebt sich das wichtige Gesetz, daß *gleichnamige Pole sich abstoßen, ungleichnamige Pole aber einander anziehen*.

Wenn man eine auf einer Spitze frei spielende Magnetnadel sich selbst überläßt, so wird sie stets eine bestimmte Stellung einnehmen, d. h. sie wird immer nach einem bestimmten Punkte des Horizontes hinweisen, und zwar zeigt die eine Hälfte nahe zu nach Norden, die andere nach Süden, weshalb man auch den nach Norden schauenden Pol der Magnetnadel den *Nordpol*, den nach Süden gerichteten den *Südpol* nennt.

Genauere Angaben über die Richtung der Magnetnadel werden weiter unten gegeben werden; hier ist dieses Umstandes nur deshalb schon jetzt erwähnt worden, weil von ihm die Bezeichnung der Magnetpole hergeleitet wird; man nennt nämlich den nach Norden gerichteten Pol den *Nordpol*, den anderen den *Südpol*. Nach dieser Bezeichnung läßt sich das oben nachgewiesene Gesetz auch so ausdrücken: *Der Nordpol eines Magneten zieht den Südpol eines jeden anderen an, dagegen stoßen sich zwei Nordpole gegenseitig ab, und ebenso üben zwei Südpole eine abstoßende Wirkung auf einander aus.*

Magnetische Fluida. In den beiden Hälften, in welche ein Magnet 3
durch die Mittellinie getheilt wird, sind also, den im vorigen Paragraphen besprochenen Erscheinungen zu Folge, zwei Kräfte thätig, welche auf den ersten Anblick identisch schienen, weil beide Enden eines Magneten das Eisen anziehen. Die Mittellinie eines Magneten bildet also die Grenze zweier antagonistischer Kräfte; sie bildet den Uebergang von der einen zur anderen, und darin eben liegt die Ursache ihrer neutralen Beschaffenheit.

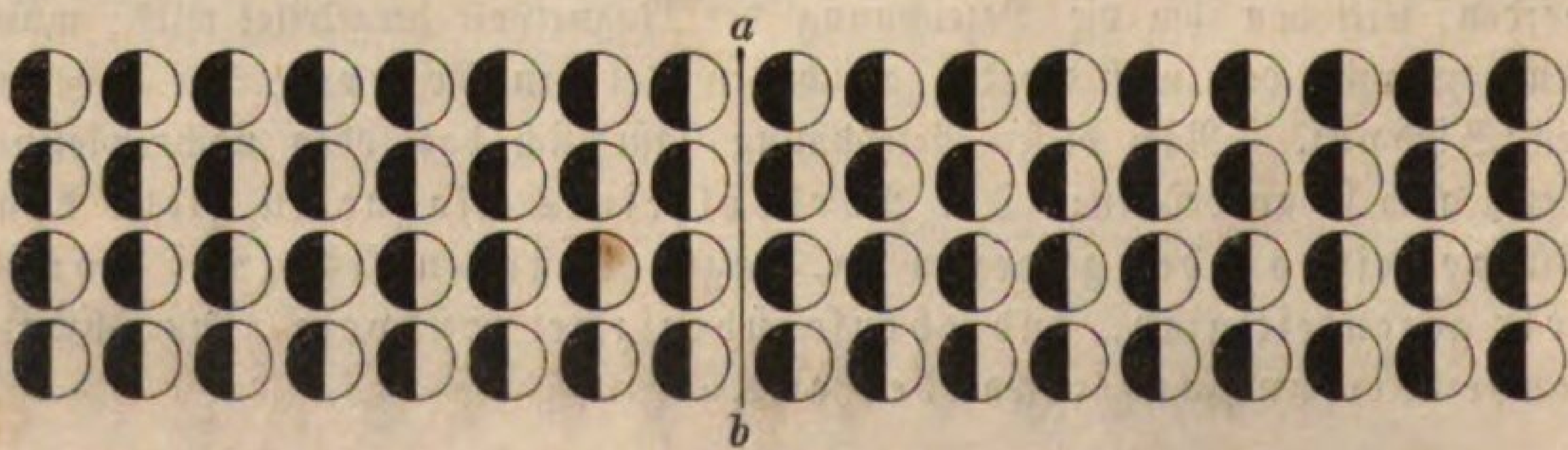
Zur Erklärung der magnetischen Erscheinungen hat man nun die Hypothese aufgestellt, daß im Stahl und im Eisen zwei imponderabele Flüssigkeiten vorhanden seien, denen die Eigenschaft zukommen soll, daß die Theilchen derselben Flüssigkeit einander abstoßen, daß aber eine Anziehung stattfinde zwischen den Theilchen der einen und den Theilchen der anderen Flüssigkeit.

Der bei den magnetischen Polen üblichen Bezeichnungsweise entsprechend, wollen wir die beiden Flüssigkeiten als nordmagnetisches und südmagnetisches Fluidum unterscheiden.

Was die Vertheilung der beiden magnetischen Fluida in einem Magnete betrifft, so scheint es auf den ersten Anblick am einfachsten, anzunehmen, daß in der Mittellinie kein magnetisches Fluidum vorhanden sei, daß aber von da nach dem einen Pole hin das nordmagnetische, nach dem anderen hin das südmagnetische Fluidum in immer wachsender Dichtigkeit vorhanden sei. Wäre diese Vorstellungsweise richtig, so müßte ein Magnetstab, den man in seiner Mittellinie durchbricht, zwei Stücke liefern, von denen das eine nur einen Nordpol, das andere nur einen Südpol hat. Der Versuch, welchen man am besten mit einem magnetisirten Stahldraht, etwa mit einer Stricknadel anstellen kann, zeigt aber, daß jede Hälfte eines so durchbrochenen Magnetstabes wieder ein vollständiger Magnet mit zwei Polen und einer Mittellinie ist. Bricht man eine jede dieser Hälften abermals durch, so ist wiederum jedes Stück ein vollständiger Magnet; kurz man mag die Theilung so weit fortsetzen als man nur will, immer ist jedes Stückchen, welches man abbricht, ein vollständiger Magnet, und nie kommt man dahin, ein Stück zu erhalten, welches nur einen Pol hätte.

Diese Thatsache beweist uns aber, daß jedes Molekül eines Stahlmagneten schon für sich ein vollständiger Magnet ist, und daß wir uns einen Stahlmagneten aus lauter Molekularmagnetchen zusammengesetzt denken müssen, deren gleichnamige Pole alle nach derselben Seite gerichtet sind, ungefähr so, wie es Fig. 4 anschaulich macht.

Fig. 4.



Am linken Ende des Fig. 4 dargestellten Magneten ist nur die eine, am rechten Ende ist nur die andere Flüssigkeit vorhanden, wodurch die Polarität des Magneten erklärt wird, während man nach dieser Vorstellungsweise auch begreift, daß, wenn man den Magneten etwa nach der Linie *ab* durchbricht, jedes der beiden Stücke wieder ein vollständiger Magnet sein muß.

Wir werden in einem der nächsten Paragraphen sehen, daß man einen Stahlstab durch wiederholtes Streichen mit einem Magneten magnetisch machen

kann. Mit einem und demselben Magneten kann man auf diese Weise hunderte von Stahlstäben magnetisiren, ohne daß er selbst seinen Magnetismus verliert, ein Beweis, daß beim Magnetisiren kein magnetisches Fluidum aus dem streichenden Magneten in den gestrichenen Stahlstab übergeht. Es sind also die magnetischen Fluida in dem Stahlstabe auch schon vor dem Magnetisiren vorhanden, durch die Operation des Magnetisirens aber wird erst diejenige Art der Vertheilung derselben bewirkt, durch welche der Magnetismus des Stabes auch nach Außen wirksam wird.

Jedenfalls müssen wir also annehmen, daß jedes Stahlmolekül ein- für allemal die beiden magnetischen Fluida in gleicher Menge enthält; über die Art und Weise aber, wie dieselben vor der Magnetisirung vertheilt sind, können wir uns zweierlei Vorstellungen machen:

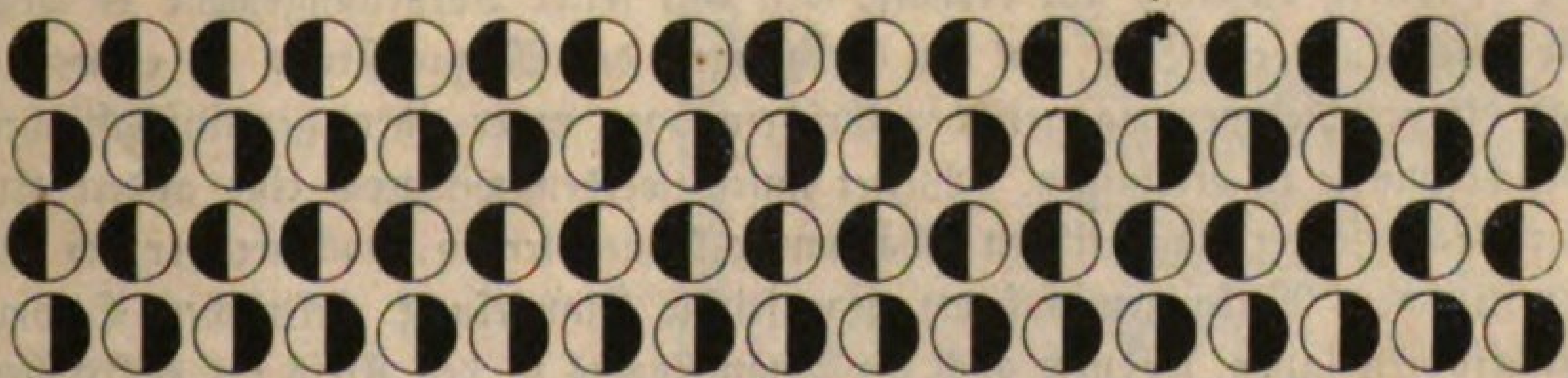
1) daß jedes der beiden Fluida gleichförmig durch die ganze Masse des Moleküls verbreitet ist, und daß also die Magnetisirung darin besteht, daß in jedem einzelnen Molekül der Nordmagnetismus mehr und mehr auf der einen, der Südmagnetismus auf der anderen Seite angehäuft wird; oder

2) daß jedes Stahlmolekül ein- für allemal schon ein vollständiger Magnet ist, indem die eine Hälfte desselben nur nordmagnetisches, die andere nur südmagnetisches Fluidum enthält, daß aber, bevor der Stab magnetisch gemacht worden ist, die gleichnamigen Pole der einzelnen Molekularmagnete in solcher Weise nach verschiedenen Seiten gerichtet sind, daß ihre Wirkungen nach Außen sich gegenseitig aufheben.

Diese letztere Vorstellungsweise ist diejenige, welche man in der Regel bei der Erklärung der magnetischen Phänomene zu Grunde legt; nach ihr besteht die Magnetisirung eines Stahlstabes also darin, daß die gleichnamigen Pole aller Molekularmagnete mehr und mehr nach derselben Seite hin gerichtet werden.

Die folgenden Figuren mögen dazu dienen, diese Vorstellungsweise einigermaßen anschaulich zu machen. Fig. 5 repräsentirt eine Anordnung der Molekularmagnete, bei welcher keinerlei magnetische Wirkung nach Außen hin stattfinden kann, welche also dem neutralen Zustande des Stahlstabes entspricht.

Fig. 5.

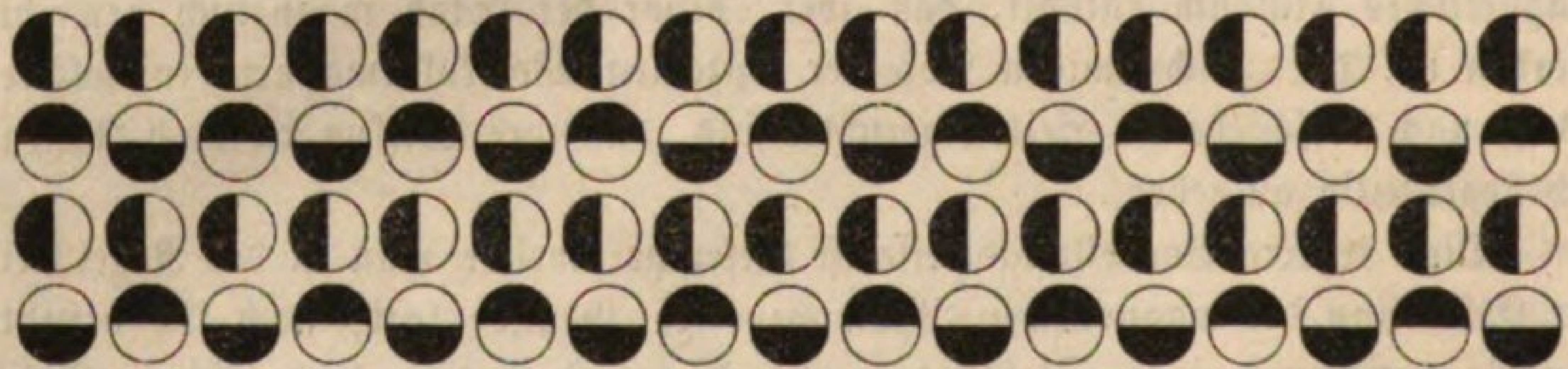


Wenn durch Schwarz der Nordmagnetismus repräsentirt wird, so ist klar, daß die oberste Horizontalreihe von Molekülen einen Magneten repräsentiren würde, der seinen Nordpol auf der linken, seinen Südpol aber auf der rechten Seite hat; dasselbe ist bei der dritten Horizontalreihe der Fall; während umgekehrt die zweite und vierte Horizontalreihe von Molekularmagneten einen Magnetstreif bilden, welcher seinen Südpol auf der linken, seinen Nordpol aber auf

der rechten Seite hat, und somit ist klar, daß die magnetische Wirkung, welche die oberste und die dritte Horizontalreihe von Molekularmagneten nach Außen hin hervorzubringen im Stande sind, durch die zweite und vierte Horizontalreihe wieder aufgehoben wird, daß also bei der Fig. 5 dargestellten Anordnung gar keine magnetische Wirkung nach Außen hin möglich ist.

Wenn nun auf den Fig. 5 dargestellten magnetisch neutralen Stahlstab eine magnetisirende Kraft einwirkt, welche auf der linken Seite einen Nordpol, auf der rechten einen Südpol hervorzubringen strebt, so sehen wir, daß die Pole der Molekularmagnete in der ersten und dritten Horizontalreihe bereits nach der Seite gerichtet sind, wie es dieser magnetisirenden Kraft entspricht. In den Molekularmagneten der zweiten und dritten Horizontalreihe aber wirkt die magnetisirende Kraft dahin, die Pole nach der entgegengesetzten Seite ihrer bisherigen Lage zu wenden, und der Magnetismus des Stabes wird um so kräftiger hervortreten, je weiter diese Drehung bereits zu Stande gekommen ist. Wäre die Drehung etwa nur zur Hälfte vollendet, wie es Fig. 6 darstellt, so würde der Stahlstab die Hälfte der magnetischen Kraft erlangt haben, deren er überhaupt fähig ist, denn bei dieser Stellung der Polaritäten ist die zweite und vierte

Fig. 6.



Reihe für sich nach Außen magnetisch indifferent, es bleibt also die magnetische Wirkung der ersten und dritten Reihe ganz rein übrig. Ist endlich die Drehung der einzelnen Molekularmagnete vollkommen zu Stande gebracht, wie Fig. 4 andeutet, so hat nun der Stahlstab das Maximum des Magnetismus erreicht, dessen er überhaupt fähig ist.

Daß nun wirklich solche Fluida existiren, läßt sich freilich nicht beweisen; wir postuliren dieselben nur deshalb, weil eine solche Vorstellungsweise es möglich macht, uns ein Bild von den Vorgängen der Magnetisirung zu entwerfen und die verschiedenen magnetischen Erscheinungen unter einem gemeinschaftlichen Gesichtspunkte zu vereinigen. Weiter unten werden wir noch eine andere Erklärungsweise der magnetischen Phänomene kennen lernen, nach welcher sich alle magnetischen Wirkungen auf die gegenseitige Einwirkung elektrischer Ströme zurückführen lassen, wodurch auch der Magnetismus in den Kreis der elektrischen Erscheinungen gezogen wird.

4 **Verhalten des Eisens und des Stahls gegen Magnete.** Die Anziehung des Eisens durch einen Magneten ist nur die Folge davon, daß das Eisen unter dem Einfluß des Magneten selbst magnetisch wird, daß also ein Magnetpol in einem ihm genäherten Eisenstück eine magnetische Vertheilung der Art bewirkt, wie wir sie im vorigen Paragraphen kennen lernten; da aber ein

an einem Magnetpol anhängendes Eisenstäbchen selbst ein Magnet wird, so kann es ein zweites, dieses ein drittes u. s. w. tragen, und so kann man an einen Magnetpol eine ganze Kette von Eisenstäbchen anhängen, wie Fig. 7 darstellt.

Fig. 7.



Fig. 8.

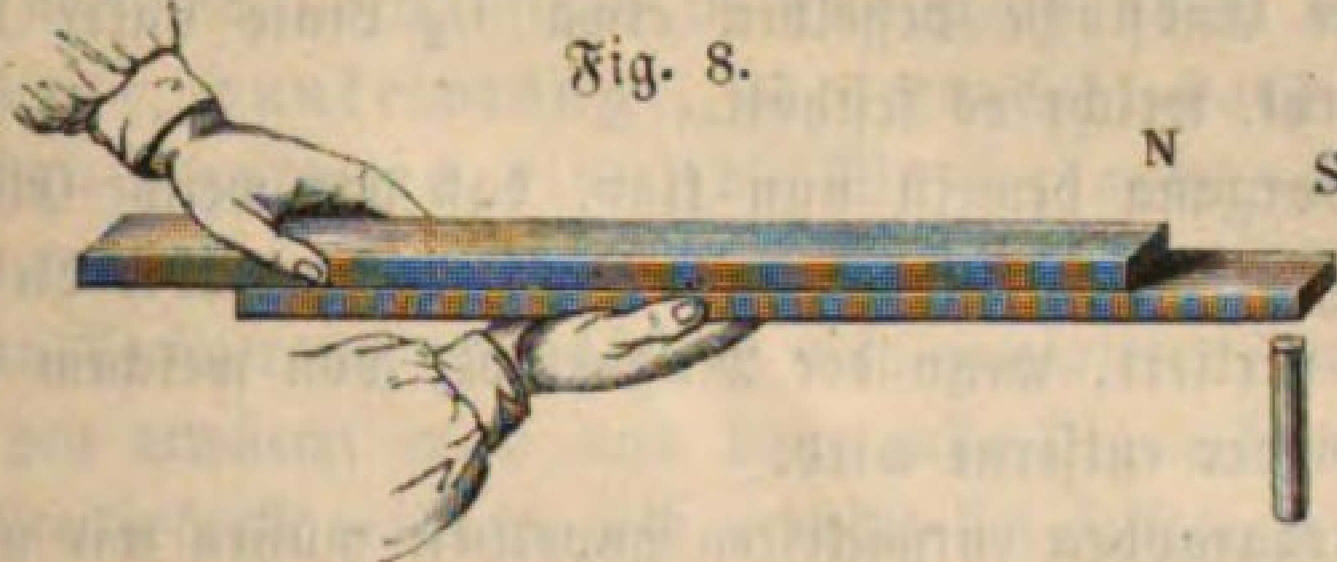
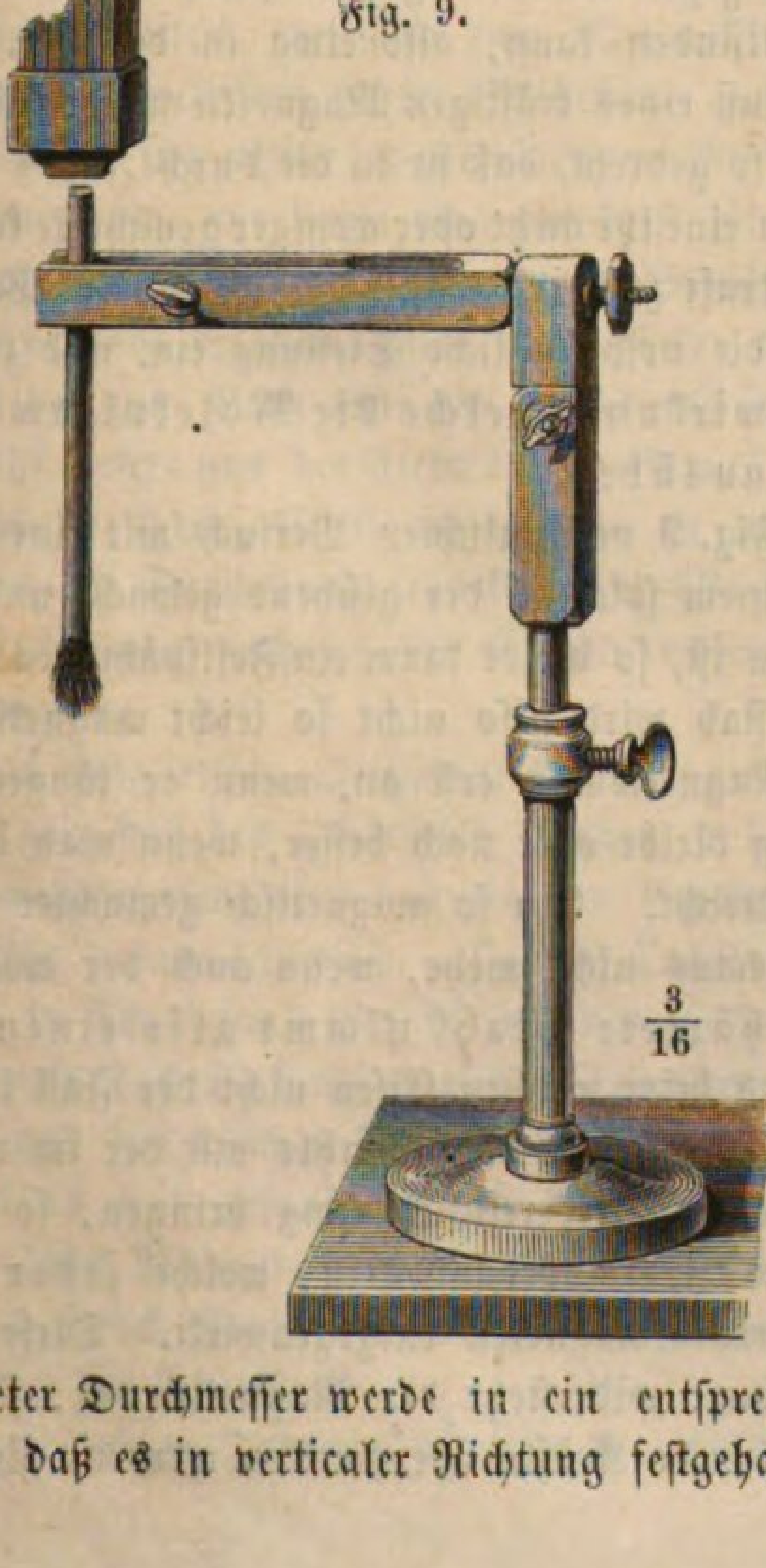


Fig. 9.



Diese Vertheilungsweise wird auch durch folgenden Versuch erläutert: man hänge ein Eisenstäbchen dem einen Pol, etwa dem Südpol eines horizontal gehaltenen Magnetstabes an, so wird das obere Ende des Stäbchens zu einem Nordpol, das untere zu einem Südpol (Fig. 8). Wenn man aber nun einen zweiten Magnetstab so auf dem ersteren verschiebt, daß sich der Nordpol N des oberen allmälig dem Südpol S des unteren nähert, so wird alsbald das bisher getragene Stück Eisen abfallen, weil der Nordpol N des oberen Magneten in dem Eisenstab gerade die entgegengesetzte magnetische Vertheilung hervorzurufen strebt, wie der Südpol S des unteren.

Das Verhalten des weichen Eisens gegen einen Magneten läßt sich am einfachsten durch folgenden Versuch prüfen. Ein Eisenstäbchen von ungefähr 15 Centimeter Länge und 6 bis 8 Millimeter Durchmesser werde in ein entsprechendes Statif (Fig 9) so eingespannt, daß es in verticaler Richtung festgehalten wird. Hält man nun über

das obere Ende den einen Pol eines kräftigen Magnetstabes, während man das untere Ende in ein Schälchen mit Eisenfeile oder kleinen Drahtstiften eintaucht, so bleibt nach Entfernung des Schälchens ein ganzes Büschel hängen, woraus hervorgeht, daß der Eisenstab unter dem Einfluß des Magneten selbst magnetisch geworden ist; entfernt man aber ganz allmälig den über das Stäbchen gehaltenen Magnetstab, so fallen die Drahtstiftchen allmälig ab und es bleibt kaum eines hängen, wenn der Magnet vollständig entfernt ist.

Um diesen Versuch mit Erfolg anzustellen, muß man sich hüten, den Magnetpol in unmittelbare Berührung mit dem Ende des Eisenstabes zu bringen, weil man ihn sonst nicht ohne störende Erschütterung entfernen kann; am leichtesten verhindert man diese Berührung, wenn man das Eisenstäbchen so weit herunterschiebt, daß die obere Endfläche desselben etwa $1/2$ Linie unter der oberen Fläche der Klammer steht, welche es festhält.

Der eben beschriebene Vorgang beweist nun klar, daß das weiche Eisen unter dem Einfluß eines Magneten selbst magnetisch wird, daß es aber diesen Magnetismus sogleich wieder verliert, wenn der Magnetpol, von welchem die vertheilende Kraft ausging, wieder entfernt wird.

Nach der im vorigen Paragraphen entwickelten Hypothese müssen wir uns also einen Eisenstab aus lauter Molekularmagnetchen zusammengesetzt denken, welche im natürlichen Zustande so gegen einander gestellt sind, daß keine magnetische Wirkung nach Außen stattfinden kann, also etwa in der Fig. 5 dargestellten Weise. Unter dem Einfluß eines kräftigen Magneten werden aber die Polaritäten der Molekularmagnete so gedreht, daß sie in die durch Fig. 4 dargestellte gegenseitige Lage oder doch in eine ihr mehr oder weniger genäherte kommen. Sobald aber die magnetisirende Kraft zu wirken aufhört, nimmt die Polarität der Molekularmagnetchen wieder die ursprüngliche Stellung ein, und zwar in Folge der gegenseitigen Einwirkung, welche die Molekularmagnetchen unter sich auf einander ausüben.

Wiederholt man den durch Fig. 9 versinnlichten Versuch mit einem frisch gehärteten Stahlstab, d. h. mit einem solchen, der glühend gemacht und dann in kaltem Wasser abgelöscht worden ist, so bleibt kaum ein Feilspähnchen an dem unteren Ende hängen, der Stahlstab wird also nicht so leicht magnetisch wie ein Eisenstab. Er nimmt den Magnetismus erst an, wenn er längere Zeit mit dem Magnetpol in Berührung bleibt oder noch besser, wenn man ihn mit einem Magnetpole wiederholt bestreicht. Ein so magnetisch gemachter Stahlstab verliert aber seinen Magnetismus nicht mehr, wenn auch der magnetisirende Pol entfernt wird, der gehärtete Stahl nimmt also einen bleibenden Magnetismus an, was beim weichen Eisen nicht der Fall ist.

Wollen wir dieses Verhalten des gehärteten Stahls mit der im vorigen Paragraphen entwickelten Hypothese in Uebereinstimmung bringen, so müssen wir annehmen, daß im Stahl eine Kraft vorhanden ist, welche jeder Drehung der Polarität in den Molekularmagneten entgegenwirkt. Diese Kraft, welche man Coërcitivkraft nennt, widersteht der Magnetisirung, sie kann nur durch überwiegende magnetisirende Kräfte überwunden werden, sie ist es

aber auch, welche die Rückkehr der Molekularmagnetchen in ihre ursprüngliche Lage, die wir die natürliche nennen wollen, hindert und somit den Magnetismus im Stahl erhält.

Die Coërcitivkraft des Stahls ist sehr von seiner Härte abhängig. Wenn glühender Stahl in kaltem Wasser abgelöscht wird, so wird er äußerst hart und spröde; in diesem Zustande ist seine Coërcitivkraft am größten. Wird nun solcher Stahl gelinde erwärmt, angelassen, wie man es nennt, so verliert er einen Theil seiner Härte, zugleich aber auch einen Theil seiner Coërcitivkraft, und zwar von beiden um so mehr, je stärker er erwärmt wird. Den Grad des Anlassens beurtheilt man bekanntlich nach der Farbe der Oxydschicht, mit welcher sich blanker Stahl beim Erwärmen überzieht. Zuerst geht die natürliche Metallfarbe in strohgelb über, bei zunehmender Hitze wird sie orange, dunkelorange, violettroth, dann lebhaft blau, worauf ein lebhaftes grünlich blau, die Wasserfarbe, folgt. Die erste dieser Nüancen entspricht ungefähr einer Temperatur von 200°, die letzte, die Wasserfarbe, einer Temperatur von 450°. Ein gehärteter Stahlstab, welcher bis zum Rothglühen erwärmt wird und dann allmälig erkaltet, hat seine Härte und seine Coërcitivkraft verloren und verhält sich fast ganz so wie weiches Eisen.

Um sehr starke Magnetstäbe zu machen, muß man demnach den Stahl möglichst hart nehmen, d. h. nur so weit anlassen, daß er nicht allzu spröde ist. In früheren Zeiten, wo man zum Magnetisiren nur Stahlmagnete anwandte, hatte das Magnetisiren harter Stahlstäbe große Schwierigkeiten, weil die verhältnißmäßig schwachen magnetisirenden Kräfte, die man anwenden konnte, nicht hinreichten, die starke Coërcitivkraft hinlänglich zu überwinden, um eine bedeutende magnetische Vertheilung im Stahlstab zu bewirken; deshalb wählte man früher für Stahlmagnete auch stärker angelassene Stahlstäbe, und zwar meistens bis zum Blau (wie die Uhrfedern) angelassene.

Jetzt liefert uns der Elektromagnetismus Mittel, selbst die härtesten Stahlstäbe bis zu ihrem Sättigungspunkte zu magnetisiren. Die Schwierigkeit, welche bei der Darstellung sehr kräftiger Magnete zu überwinden ist, liegt also gegenwärtig nur noch in der Stahlbereitung, keineswegs in der Magnetisirungsmethode.

Das magnetische Verhalten des Magneteisensteins ist nun fast ganz dasselbe, wie das des gehärteten Stahls, d. h. er ist fähig, bleibenden Magnetismus anzunehmen, aber nur einzelne Exemplare gewisser Fundorte sind schon von Natur polarmagnetisch. Das in Octaëdern krystallisirte Magneteisen von Pfitsch in Tyrol fand Greiß frei von Coërcitivkraft (Pogg. Ann. XCVIII.), so daß also das Verhalten solcher Octaëder ganz mit dem des ausgeglühten Stahls und des weichen Eisens übereinstimmt.

Elias hat gefunden, daß bei gleichem Gewichte ein kurzes und dickes Stück Magneteisenstein einen stärkeren Magnetismus annimmt, als ein ähnliches Stück Stahl; in langen und dünnen Stücken dagegen hat letzterer entschieden die Oberhand.

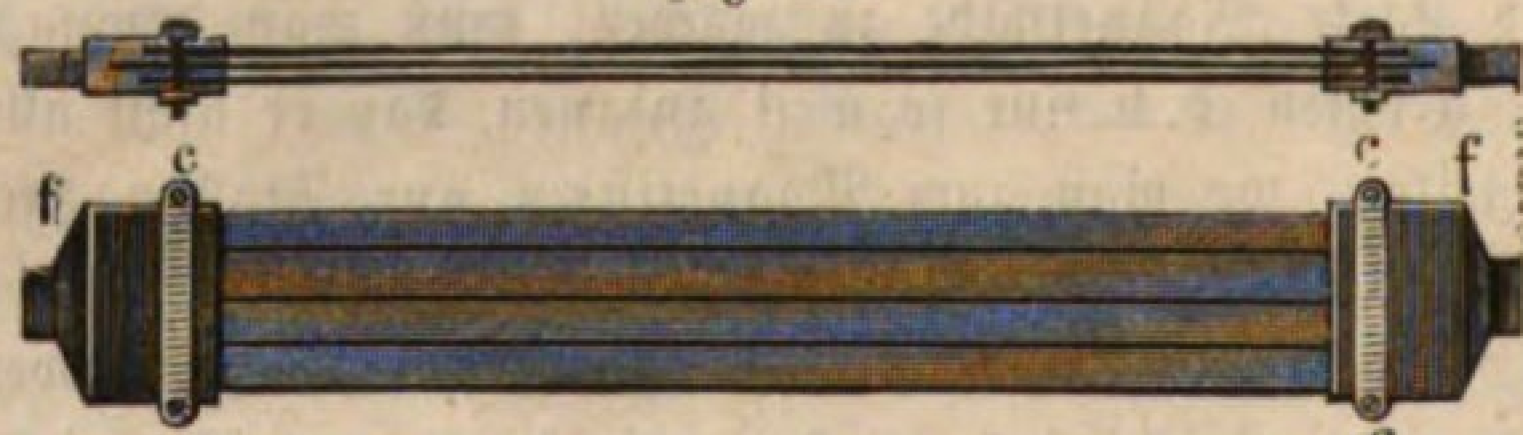
Vor einigen Jahren hat man die Entdeckung gemacht, daß Gußeisen,

und namentlich das graue, durch Härten gleichfalls eine bedeutende Coërcitivkraft erhält, daß es sich also gleichfalls zur Darstellung künstlicher Magnete verwenden läßt. Zu diesem Zwecke wird es hellrothglühend gemacht und dann in kaltem Wasser abgelöscht.

5 **Magnetisiren durch Streichen mit Magnetpolen.** Um dünnere Stahlstäbchen zu magnetisiren, verfährt man ganz einfach so, daß man das Stäbchen seiner ganzen Länge nach stets in derselben Richtung mit einem und demselben Pol eines kräftigen Magneten streicht, oder noch besser, indem man die eine Hälfte des Stäbchens von der Mitte gegen das eine Ende hinfahrend mit dem einen, die andere Hälfte in gleicher Weise mit dem anderen Pole des Magneten streicht. Das Ende der mit dem Nordpol gestrichenen Hälfte wird natürlich ein Südpol, das Ende der anderen, mit dem Südpole gestrichenen Hälfte wird ein Nordpol.

Um stärkere Stäbe zu magnetisiren, wendet man die von Duhamel angegebene Methode des getrennten Striches an, sie besteht darin, daß man zwei starke Magnetbündel von der Art, wie sie Fig. 10 dargestellt sind, so legt,

Fig. 10.



daß die Axe des einen Bündels in die Verlängerung der Axe des anderen zu liegen kommt, und daß die entgegengesetzten Pole einander zugekehrt sind, wie man Fig. 11 sieht, wo *f* den einen Pol des einen Bündels, *f'* den ungleichnamigen des anderen darstellt. Das zu magnetisirende Stäbchen legt man nun so, wie man in der Fig. 11 sieht, und unterstützt es in der Mitte noch durch ein Holzstück *l*, auf welchem man es auch noch befestigen kann, damit keine Verrückung möglich ist.

Fig. 11.

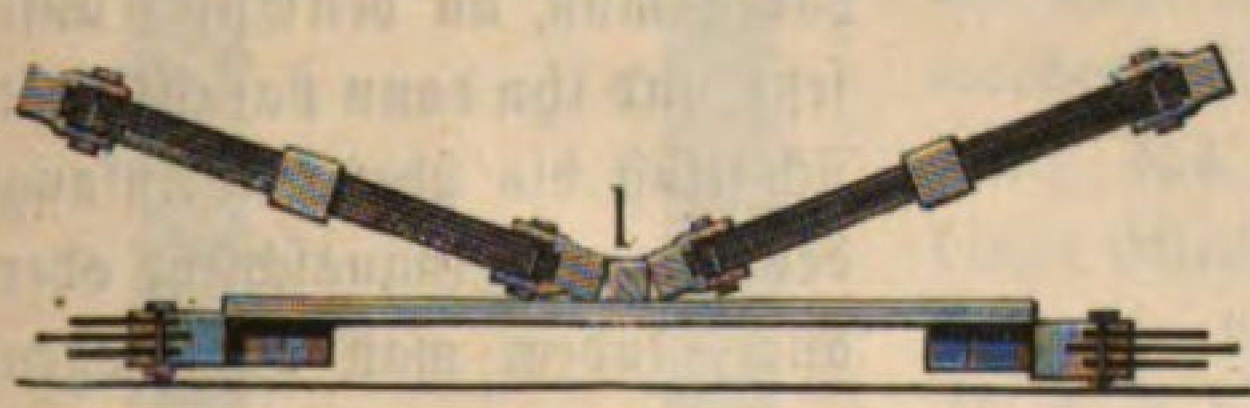


Nun nimmt man die beiden Streichmagnete *g* und *g'*, den einen in die rechte den anderen in die linke Hand, setzt sie 25 bis 30 Grad gegen die Horizontale geneigt in der Mitte des zu magnetisirenden Stabes auf, streicht alsdann mit langsamer regelmäßiger Bewegung von der Mitte aus gegen die Enden, so daß die Magnetbündel *g* und *g'* gleichzeitig an den entgegengesetzten Enden des Stäbchens ankommen, hier hebt man sie ab, setzt wieder in der Mitte auf und wiederholt dann dasselbe Verfahren mehrere Mal. Es versteht sich von selbst, daß die Streichmagnete die Nadel mit demjenigen Pol berühren müssen, nach welchem man sie hinführt. Diese Methode ist besonders geeignet, um Magnetnadeln für Bussolen oder Stahlstäbe, welche

nicht mehr als 4 bis 5 Millimeter dick sind, regelmäßig und vollständig zu magnetisiren.

Für Stäbe, welche mehr als 4 bis 5 Millimeter dick sind, ist diese Methode unzureichend, und man wendet in solchen Fällen die von Aepinus herrührende Methode des Doppelstriches an. Der Doppelstrich wird folgendermaßen ausgeführt. Man legt den zu magnetisirenden Stab auf dieselbe Weise zwischen zwei Magnetbündel wie bei Duhamel's Methode, und setzt auch die beiden Streichmagnete auf dieselbe Weise in der Mitte auf, nur giebt man ihnen eine noch geneigtere Stellung, so daß sie nur einen Winkel von 15 bis 20 Grad mit der Horizontalen machen. Alsdann streicht man mit ihnen nicht nach den entgegengesetzten Polen, sondern man bewegt beide nach demselben Stabende hin, alsdann zurück den ganzen Stab entlang. Nachdem man sie auf diese Weise zusammen hinlänglich oft über den Magnet hin und her geführt hat, hebt man sie von der Mitte des Stabes wieder ab. Um diese Operationen bequemer zu bewerkstelligen, kann man die beiden Streichmagnete auf einem dreieckigen Stück Holz oder Messing befestigen; auf jeden Fall aber muß zwischen den unteren Enden der Streichmagnete ein Zwischenraum von 5 bis 6 Millimetern sein, den man am besten durch ein Stückchen Holz, Messing oder Blei sichert, welches in unserer Figur durch *l* bezeichnet ist.

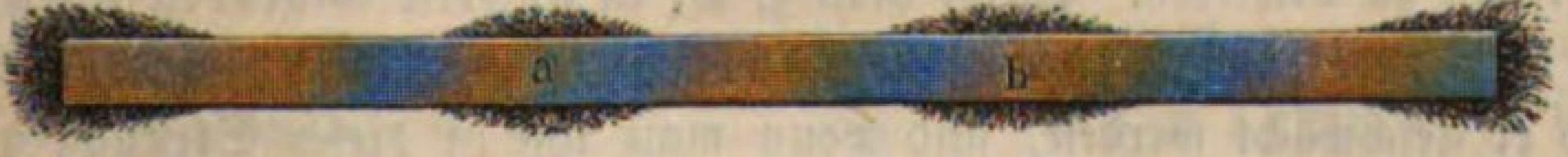
Fig. 12.



Der Doppelstrich giebt einen starken Magnetismus; er darf aber zum Magnetisiren von Nadeln für Bussolen und Stäbe, welche zu genauen Untersuchungen dienen sollen, nicht angewendet werden, weil er fast immer ungleich starke Pole giebt und leicht Folgepunkte veranlaßt.

Mit dem Namen der Folgepunkte bezeichnet man nämlich magnetische Pole, welche nicht am Ende eines magnetisirten Stabes, sondern an beliebigen Zwischenpunkten sich zeigen und welche stets die Folge einer unregelmäßigen Magnetisirung sind; sie treten nämlich dann auf, wenn einzelne Stücke der Längenausdehnung des Stabes in entgegengesetzter Richtung magnetisirt sind, und bezeichnen dann stets die Stellen, an welchen ein Polaritätswechsel stattfindet. Man kann solche Folgepunkte am einfachsten dadurch erkennen, daß man den Stab in Eisenfeile wälzt, wobei dann an allen Folgepunkten stärkere Büschel hängen bleiben, oder auch dadurch, daß man ein starkes Papierblatt auf den Magnetstab legt und Eisenfeile darauf siebt, wobei dann ein mit Folgepunkten versehener Magnetstab eine der in Fig. 13 abgebildeten ähnliche Anordnung giebt.

Fig. 13.

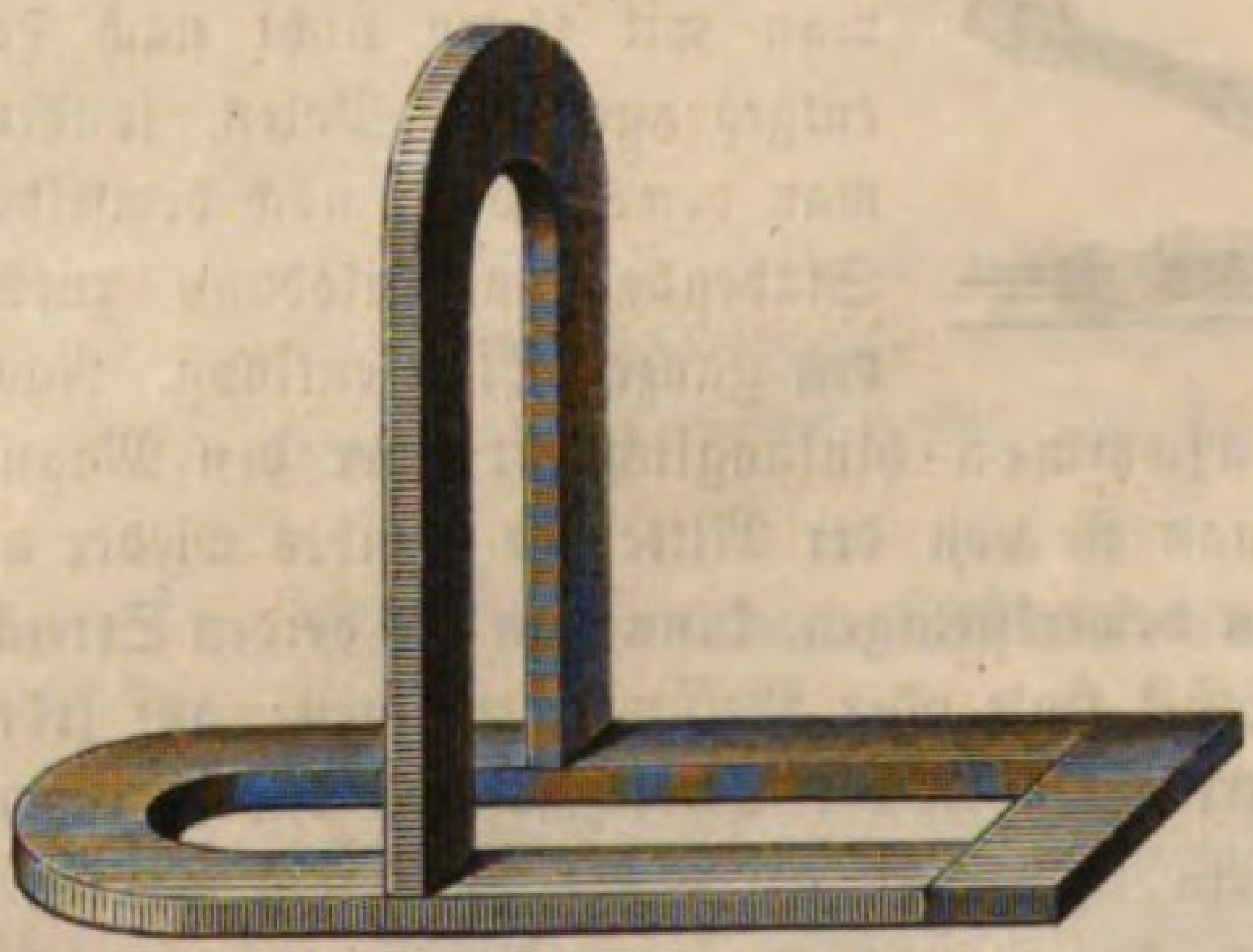


Man kann einen Magnetstab mit Folgepunkten dadurch herstellen, daß man mehrere kleinere regelmäßig magnetisirte Stahlstäbchen mit den gleichnamigen Polen an einander stößt.

Es versteht sich von selbst, daß Magnetnadeln frei von Folgepunkten sein müssen.

Um hufeisenförmige Magnete zu machen, bedient man sich am besten der Hoffer'schen Methode, welche darin besteht, daß man an die beiden freien Enden des zu magnetisirenden, horizontal gelegten Hufeisens, welche die Pole werden sollen, eine Platte von weichem Eisen anlegt, wie Fig. 14 zeigt, einen hufeisenförmigen Streichmagnet, welcher gleiche Breite mit dem zu magnetisirenden haben muß, an den Enden aufsetzt, und ihn dann parallel mit sich selbst bis über den Anfang des Bogens hinausschiebt oder auch, indem man am Bogen aufsetzt und gegen die Enden hin streicht.

Fig. 14.



In Ermangelung eines Streichmagneten von der gleichen Breite des neu herzustellenden kann man auch den einen Schenkel des Hufeisens zuerst mit dem einen, dann den anderen Schenkel mit dem anderen Pol eines kräftigen Magnetstabes streichen, noch vortheilhafter aber wendet man die Methode des Kreisstriches an, d. h. man streicht mit einem und demselben Pole des Streichmagneten zuerst auf dem einen Schenkel vom Bogen bis zum Ende, dann ohne Unterbrechung auf der weichen Eisenplatte fort zum Ende des anderen Schenkels, auf diesem weiter bis zum Bogen, über den Bogen weg und so weiter immer den magnetisirenden Pol im Kreise herum führend. Dieselbe Operation wird dann auf der anderen Seite der Stahlplatte wiederholt.

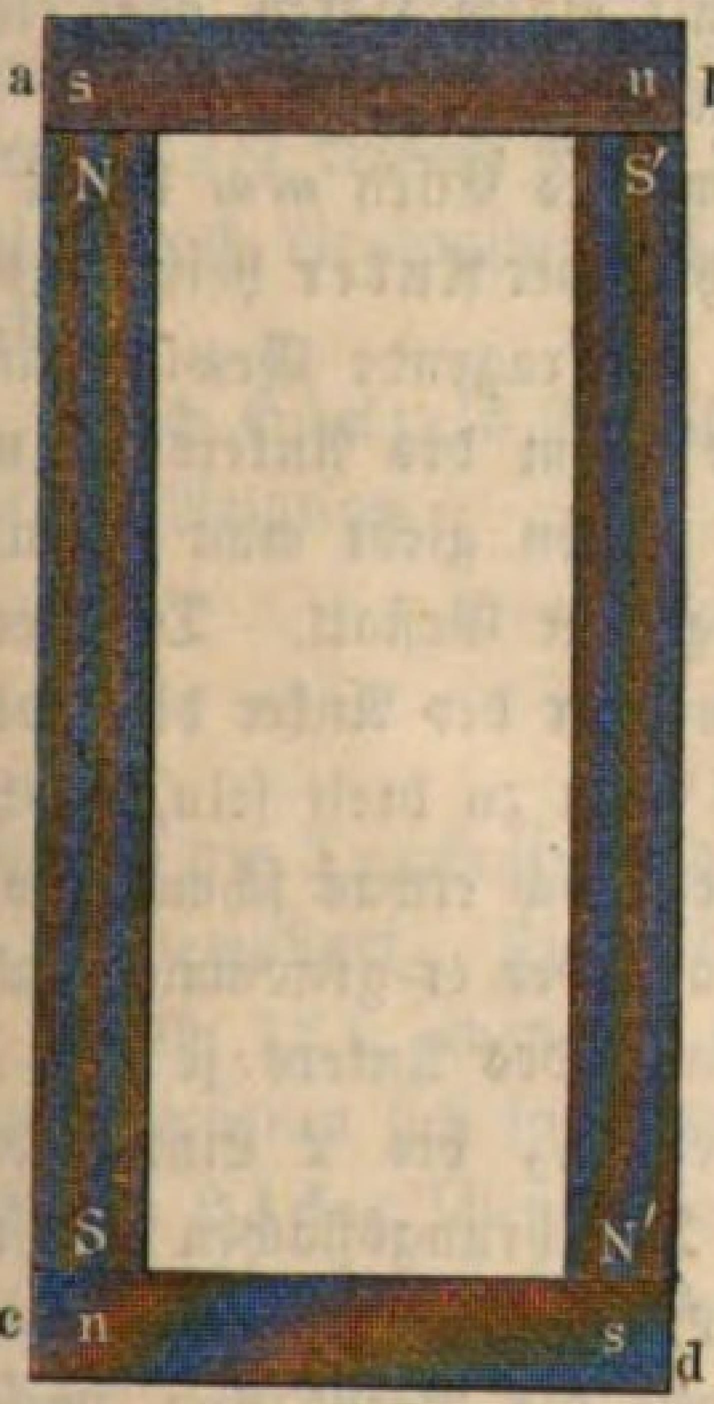
Noch bequemer läßt sich die Operation des Kreisstrichs ausführen, wenn man statt der Eisenplatte ein dem ersteren ganz gleiches Hufeisen an die Enden desselben ansetzt. Man erhält auf diese Weise gleich zwei Hufeisenmagnete.

6 **Magnetische Armaturen.** Nachdem wir gesehen haben, wie man Magnete macht, bleibt nur noch übrig zu zeigen, wie man ihre Kraft erhalten kann und wie man sie verbinden muß, um ihre Wirkung zu vermehren.

Man kann einen magnetischen Stab in eine solche Lage bringen, daß der Erdmagnetismus ein Bestreben hat, eine theilweise Vereinigung der getrennten Flüssigkeiten zu bewirken. Wenn man z. B. in unseren Gegenden einen Magnetstab in verticaler Stellung so hält, daß sein Südpol nach unten gekehrt ist, so wird er geschwächt werden, und wenn man ihn in dieser Stellung mehrere Schläge mit dem Hammer gäbe, so würde er nach einiger Zeit ganz schwach,

ja endlich sogar seine Pole ganz umgekehrt werden. Um dies zu verhindern, wendet man Armaturen an. Armaturen heißen Stücke von weichem Eisen, welche man mit dem Magnet in Berührung bringt, um sie selbst durch die im weichen Eisen hervorgebrachte magnetische Zersetzung in Thätigkeit zu erhalten. Um Magnetstäbe zu armiren, verfährt man am besten so, wie man aus Fig. 15 sieht. Man legt zwei gleiche Magnetstäbe *NS* und *N'S'* parallel so neben einander, daß immer der Nordpol des einen nach derselben Seite gerichtet ist wie der Südpol des anderen, und fügt dann zwei Stücke von weichem Eisen *ab* und *cd* so an, daß dadurch das Rechteck geschlossen wird. Jedes dieser Eisenstücke wird nun natürlich selbst ein Magnet, der auf die Magnetstäbe *NS* und *N'S'* in der Weise zurückwirkt, daß dadurch die getrennten Flüssigkeiten an den entsprechenden Enden fixirt werden.

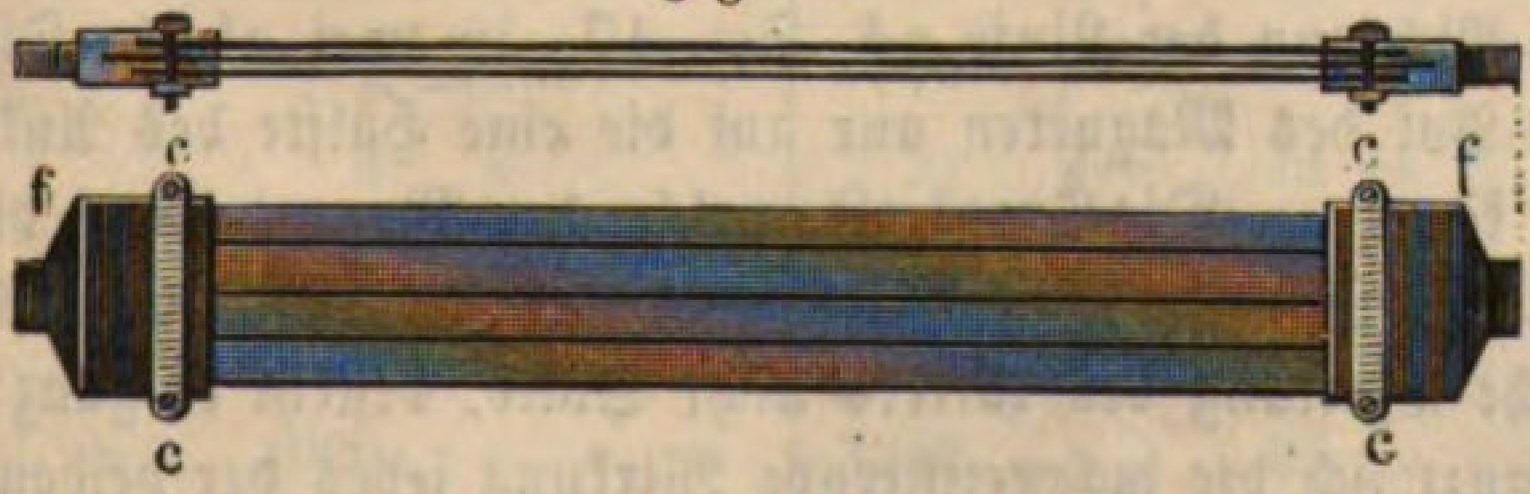
Fig. 15.



Magnetnadeln und Magnetstäbe, welche durch den Erdmagnetismus gerichtet sind, sind gewissermaßen durch die Erde armirt.

Ein magnetisches Magazin ist eine Verbindung von mehreren einzelnen Magnetstäben. Fig. 16 zeigt ein solches nach Coulomb's Methode construirtes. Es besteht aus zwölf einzelnen Magnet-

Fig. 16.

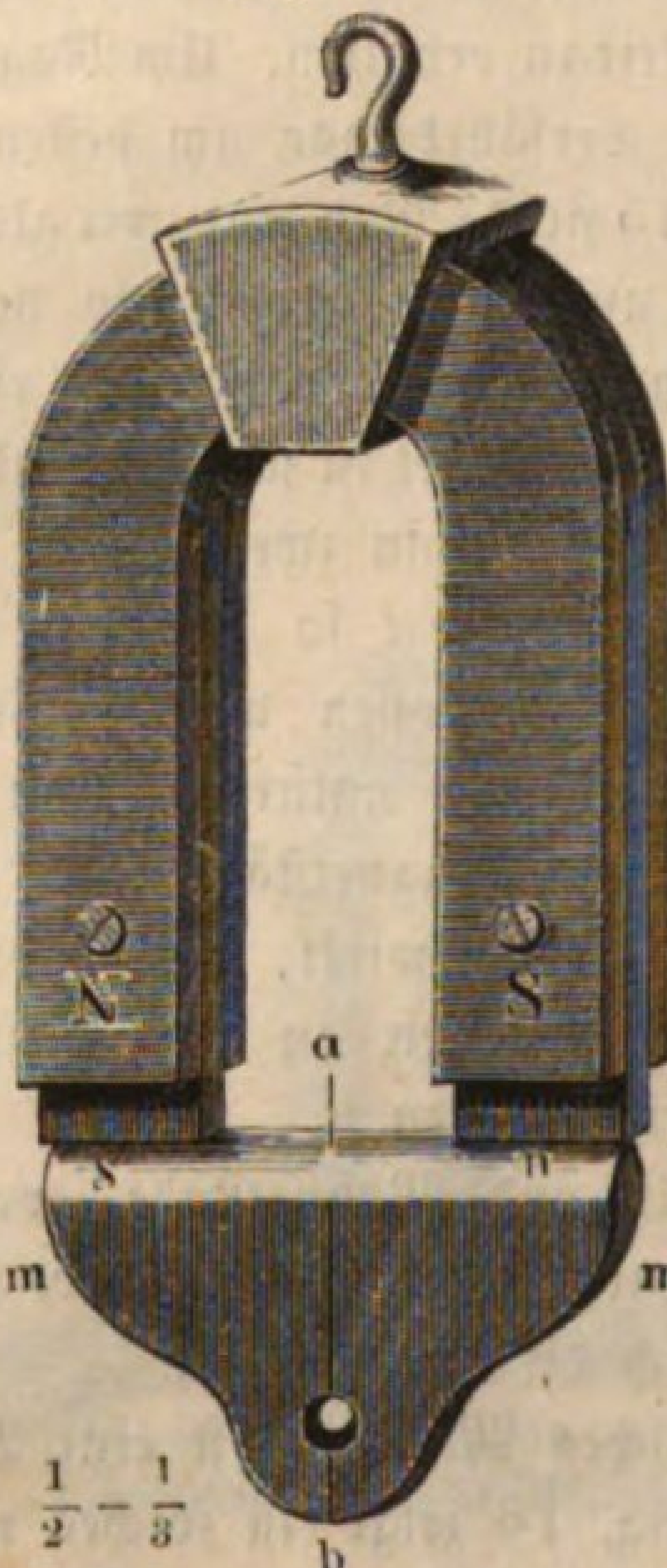


stäben, die drei Schichten, jede von vier Stäben, bilden. Die Stäbe der mittleren Schicht sind um $2^1/_2$ bis 3 Zoll länger als die der oberen und unteren, so daß sie ungefähr 15 bis 18 Linien auf jeder Seite vorstehen. Alle Stäbe haben übrigens vollkommen gleiche Dimensionen und sind in Eisenstücken *f* befestigt, die als Armatur dienen. Die Messingbänder *cc* dienen dazu, die Stäbe und Armatur gehörig fest zusammenzuhalten. Solche große Magnetbündel bleiben fest liegen, wenn man sich ihrer zum Magnetisiren bedient. Die kleineren, die man zum Streichen gebraucht, sind nach demselben Principe construirt.

Um eine starke Tragkraft zu erreichen, muß man dafür sorgen, daß beide Pole gleichzeitig zur Wirkung kommen, was dadurch geschieht, daß man dem Magneten eine Uförmige Gestalt giebt. Fig. 17 (a. f. S.) stellt einen solchen Magneten dar. Er besteht aus mehreren hufeisenförmig gebogenen Stahlplat-

ten, welche unmittelbar auf einander gelegt werden. Zwei Schrauben von Eisen oder Messing halten sie zusammen. Jede Platte wird vor dem Zusammensetzen für sich magnetisirt. Der mittlere Theil steckt in einer Hülse von Holz oder Messing, welche mit einem Haken oder einem Ringe zum Aufhängen versehen ist.

Fig. 17.



Ein Stück weiches Eisen *mm* bildet die Armatur, welche hier der Anker heißt und an welchen auch das zu tragende Gewicht angehängt wird. Die Form des Ankers ist nicht gleichgültig. Am besten giebt man ihnen die in der Figur angegebene Gestalt. Die Berührungsfläche, mit welcher der Anker die Polflächen berührt, darf nicht zu breit sein, weshalb man den Anker oben noch etwas schmäler macht als die Platte ist, aus der er genommen wurde. Man macht die Bahn des Ankers je nach der Größe der Magnete $^1/_2$ bis 2 Linien breit. Daß bei breiteren Berührungsflächen die Tragkraft geringer wird, rührt wahrscheinlich daher, daß in diesem Falle die Berührung zwischen dem Anker und den Polen nicht leicht so vollständig hergestellt werden kann als bei schmälerer Bahn.

Denken wir uns den Anker durch einen Messingstreifen von 1 bis 2 Linien Breite in der Richtung der Linie *ab*, Fig. 17, in zwei gleiche Theile getheilt, so wird jeder Pol des Magneten nur auf die eine Hälfte des Ankers magnetisirend wirken können. Die Tragkraft, welche der Magnet unter diesen Umständen zeigt, ist die Summe der Tragkräfte der beiden einzelnen Pole. Findet aber eine solche Theilung des Ankers nicht Statt, besteht er ganz aus weichem Eisen, so pflanzt sich die magnetisirende Wirkung jedes der beiden Magnetpole durch die ganze Masse des Ankers fort. Der Pol *S* begünstigt die Bildung eines Südpols in *s*, *N* unterstützt die Bildung eines Nordpols in *n*, die magnetische Polarität in *n* und in *s* wird also ungleich kräftiger sein, als wenn sie nur von dem benachbarten Pole des Magnets ausgegangen wäre. Daher kommt es denn auch, daß die Tragkraft eines gehörig mit einem Anker armirten Magneten die doppelte Tragkraft des einzelnen Poles bei weitem übertrifft.

Wie man nach den im vorigen Paragraphen gemachten Bemerkungen nicht anders erwarten kann, wächst die Tragkraft der Stahlmagnete keineswegs in gleichem Verhältniß wie ihre Masse.

Ein Hufeisenmagnet, aus einer einzigen Lamelle bestehend, trage 10 Pfund. Eine zweite ganz gleiche Lamelle habe dieselbe Tragkraft. Werden nun beide Lamellen zu einem einzigen Magneten vereinigt, so ist die Tragkraft desselben bei weitem geringer als 20 Pfund.

Wenn man eine hufeisenförmige Stahllamelle magnetisirt, während der Anker vorgelegt ist, so kann man ihren Magnetismus weit über die Grenze hinaus steigern, die sich ohne Anker erreichen läßt. Sobald aber der Anker abgerissen wird, nimmt der Magnetismus wieder ab und der Magnet trägt jetzt bei weitem nicht mehr so viel als vorher. Unter constanter Tragkraft eines Magneten versteht man diejenige, welche ihm nach mehrmaligem Abreißen des Ankers noch bleibt. Durch Stoßen, Fallenlassen u. s. w. kann freilich auch die constante Tragkraft eines Magneten noch bedeutend geschwächt werden.

Nach Häcker's Versuchen besteht zwischen Masse und Tragkraft der Magnete die Relation

$$M = a \sqrt[3]{P^2},$$

wenn M die Tragkraft, P das Gewicht des Magneten, a aber einen constanten Factor bezeichnet. Für seine ausgezeichneten Stahlmagnete ergab sich für a der Werth 12,6, wenn P und M in Pfunden ausgedrückt sind. Nach dieser Formel ergeben sich folgende zusammengehörige Werthe von Gewicht und Tragkraft der Häcker'schen Hufeisenmagnete:

Gewicht.	Tragkraft.
4 Loth	3 Pfund 4 Loth
16 »	7 » 28 »
1 Pfund	12 » 17 »
4 »	31 » 19 »
20 »	92 » 12 »
100 »	270 » —
1000 »	1253 » 24 »
1972	1972

Während also ein Magnet von 4 Loth das 25fache seines Gewichts trägt, kann ein 100pfündiger nicht einmal das Dreifache seiner Last tragen. Ueber 1972 Pfund hinaus wäre demnach die Tragkraft der Magnete sogar geringer als ihr Gewicht.

Logeman und Wetteren in Harlem haben es in der Darstellung von Stahlmagneten so weit gebracht, daß ein 1pfündiger, aus einer Lamelle bestehender Hufeisenmagnet 25 bis 26 Pfund trägt, der Factor a müßte also für ihre Magnete ungefähr doppelt so groß angenommen werden als oben angegeben wurde.

In neuerer Zeit hat man mit Erfolg auch das Gußeisen zur Darstellung von Hufeisenmagneten benutzt.

Die Armatur der natürlichen Magnete ist Fig. 18 und 19 dargestellt. *l* und *l'* sind die an die Pole des Magnetsteins angelegten Flügel, *pp'* die Füße. Man macht die Flügel fast so breit wie den Magnet und ungefähr eine Linie dick. Die Dimensionen der Füße hängen von der Stärke des Magneten ab.

Fig. 18.

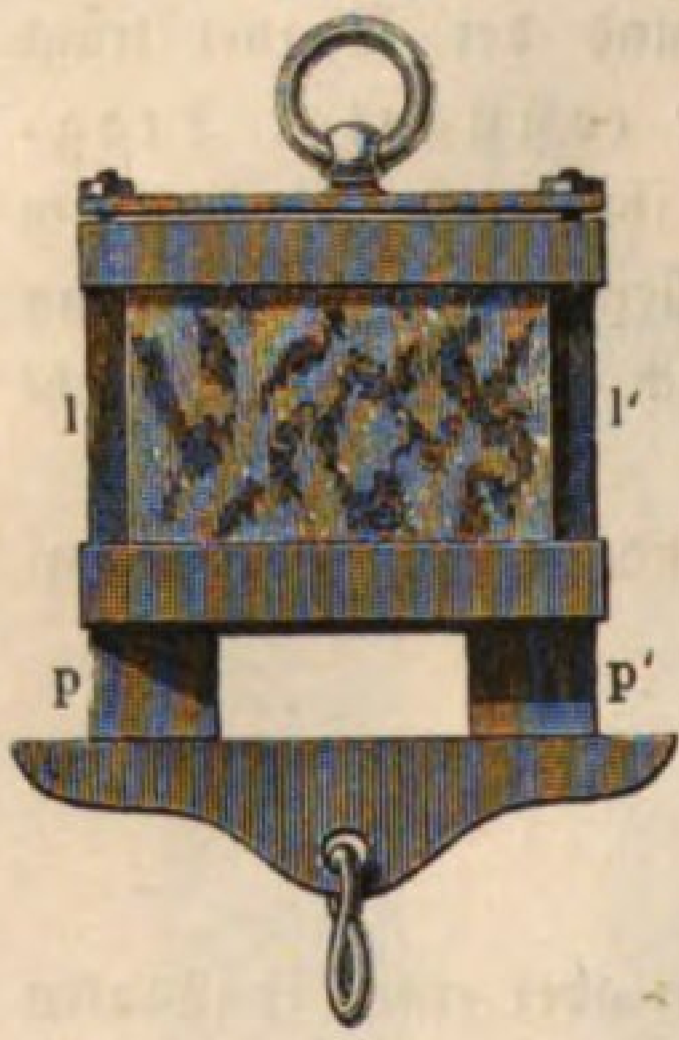
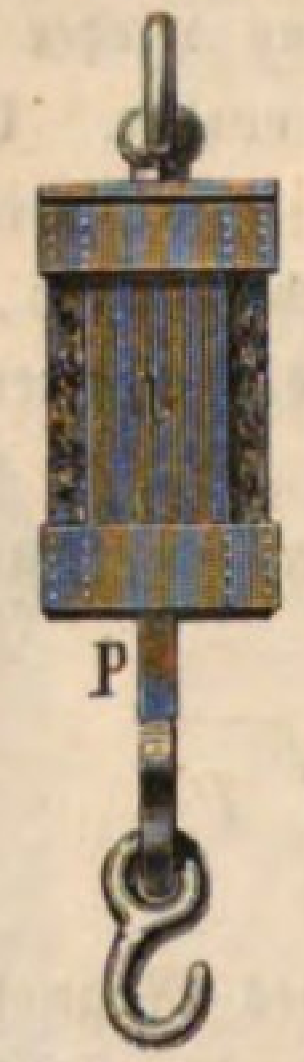


Fig. 19.



Bei natürlichen Magneten sowohl wie bei künstlichen kann man die Tragkraft allmälig dadurch vergrößern, daß man nach und nach das angehängte Gewicht vermehrt. Beim Abreißen des Ankers tritt aber dann sogleich wieder eine bedeutende Schwächung des Magneten ein.

Bevor wir nun die Gesetze der magnetischen Wirkungen weiter erörtern können, müssen wir erst die wichtigsten Beziehungen des Erdmagnetismus kennen lernen.

7 **Magnetische Declination.** Wir haben bereits oben gesehen, daß eine Magnetnadel oder ein Magnetstab, welcher so aufgehängt ist, daß sich seine Längenaxe nur in einer horizontalen Ebene um eine verticale Axe drehen kann, immer eine bestimmte Stellung einnimmt, indem die magnetische Axe, die Verbindungslinie der beiden Pole, stets gegen einen bestimmten Punkt des Horizonts hinweist. Wird die Nadel durch irgend eine störende Kraft aus dieser Gleichgewichtslage herausgebracht und dann sich selbst überlassen, so kehrt sie nach einer Reihe von Oscillationen immer wieder in diese Gleichgewichtslage zurück.

Denken wir uns durch die magnetische Axe einer in ihrer Gleichgewichtslage befindlichen horizontalen Magnetnadel eine Verticalebene gelegt, so ist diese der magnetische Meridian. Der magnetische Meridian eines Ortes macht nun mit dem astronomischen Meridian einen Winkel, welchen man die Declination oder Abweichung nennt. Die Declination ist östlich oder westlich, je nachdem die Magnetnadel nach der einen oder nach der andern Seite des astronomischen Meridians abweicht. In Fig. 20 z. B. stellt *sn* den Meridian eines Ortes dar, *ab* aber die Richtung der horizontalen Magnetnadel an demselben Orte. Die westliche Declination betrug zu Göttingen im Januar 1837 18° 37′ 30,55″; wir werden bald sehen, daß die Declination mit der Zeit sich ändert. Es giebt Orte auf der Erde, wo die Richtung der Magnetnadel vollständig mit dem Meridian zusammenfällt; an diesen Orten ist natürlich die Declination gleich Null.

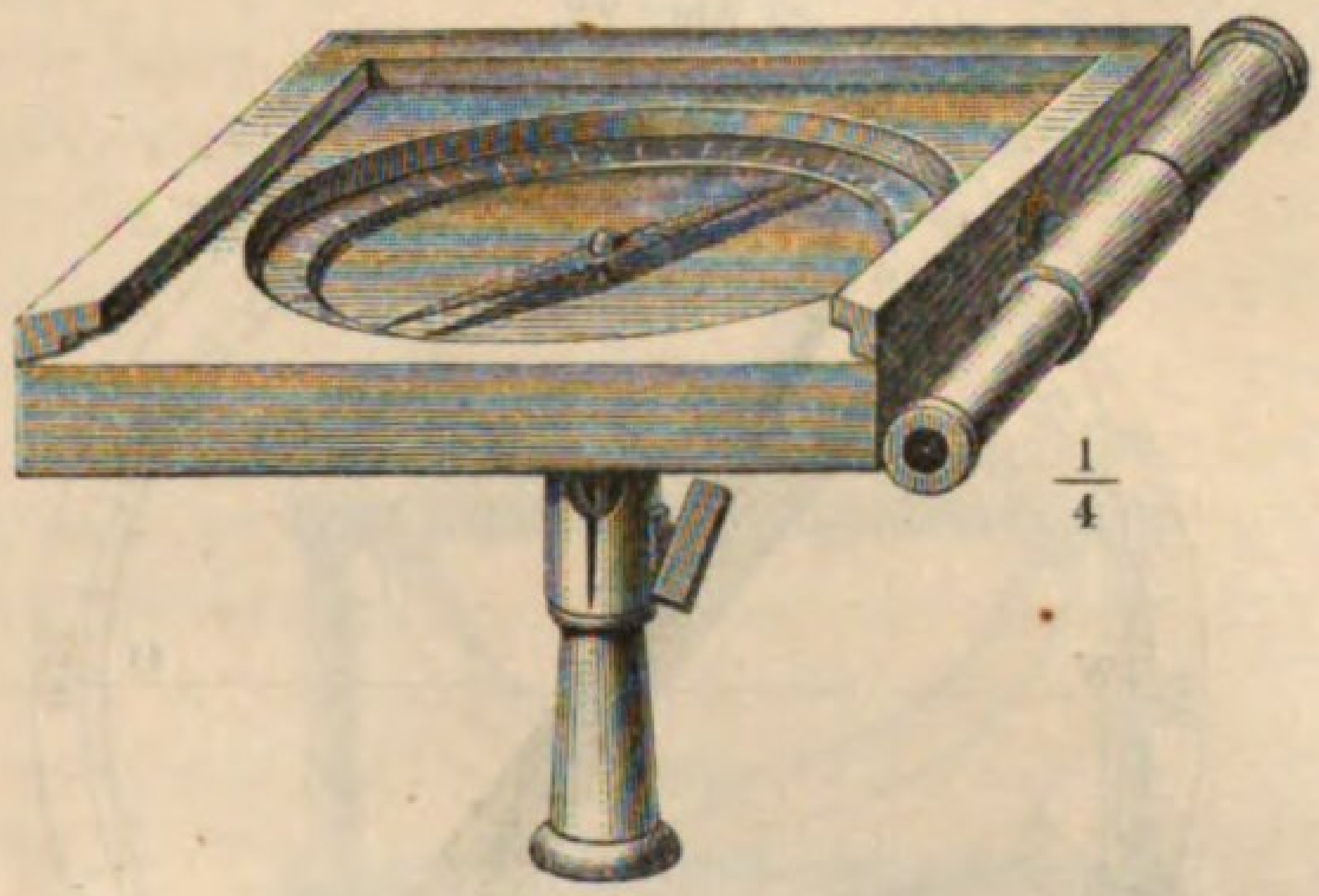
Jeder Apparat, welcher dazu dient, die Declination zu messen, heißt eine Declinationsbussole.

Fig. 21 stellt eine solche Bussole ziemlich einfacher Art vor. Die Spitze, auf welche die Nadel aufgesetzt ist, bildet den Mittelpunkt eines getheilten Hori-

Fig. 20.



Fig. 21.



zontalkreises, welcher um eine verticale Axe in seiner eigenen Ebene umgedreht werden kann. An der Seite des Gehäuses ist ein Fernrohr angebracht, dessen Axe mit derjenigen Linie parallel läuft, welche man sich vom Nullpunkte des getheilten Kreises über seinen Mittelpunkt zum Theilstriche 180° gezogen denken kann. Je nachdem man den Horizontalkreis in seiner Ebene umdreht, wird die Spitze der Magnetnadel auf andere Theilstriche zu stehen kommen. Wenn man den Apparat so stellt, daß die Nadel gerade auf den Nullpunkt der Theilung zeigt, so ist die Axe des Fernrohrs mit der Nadel parallel, sie fällt mit dem magnetischen Meridian zusammen; bei jeder anderen Stellung aber zeigt die Nadel auf denjenigen Theilstrich des Kreises, welcher angiebt, wie viel Grade der Winkel beträgt, welchen die Richtung der Nadel mit der Axe des Fernrohrs (oder vielmehr der Horizontalprojection der Fernrohraxe) macht; wenn man also das Fernrohr genau in den astronomischen Meridian bringt, so kann man auf dem Theilkreise ablesen, welchen Winkel der magnetische Meridian mit dem astronomischen macht.

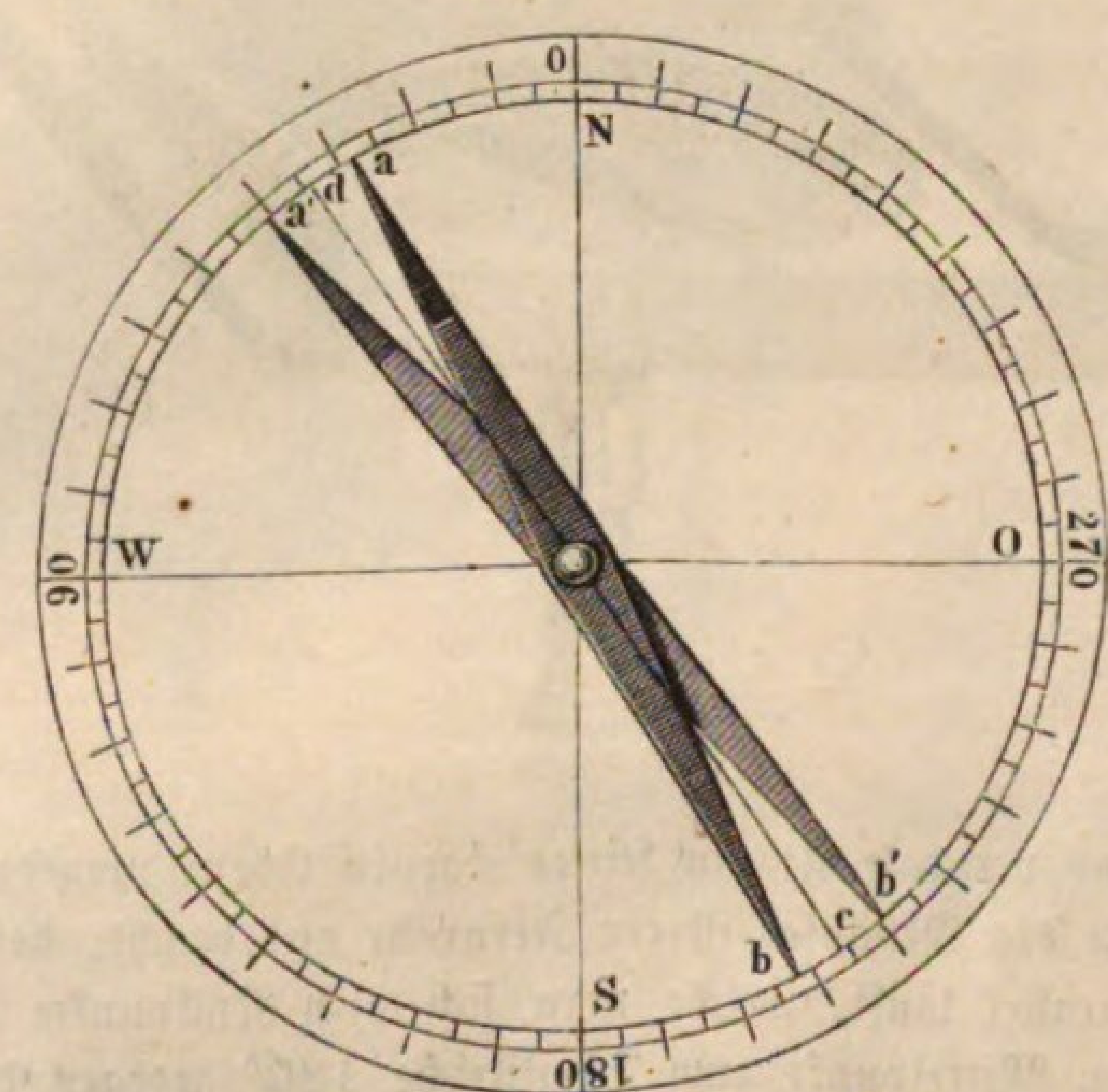
Dieses Instrument kann nun überhaupt als Winkelmeßinstrument dienen, weil man mit Hülfe desselben jederzeit den Winkel bestimmen kann, welchen die Visirlinie des Fernrohrs (oder vielmehr ihre Horizontalprojection) mit dem magnetischen Meridian macht.

Die Bestimmung der magnetischen Declination mit Hülfe der eben beschriebenen Bussole wird mit einem constanten Fehler behaftet sein, wenn die magnetische Axe der Nadel nicht genau mit der geometrischen, d. h. der Verbindungslinie der beiden Spitzen zusammenfällt. Dieser Fehler wird nun durch die Methode des Umkehrens corrigirt.

Zu diesem Zwecke ist die Nadel nicht auf ihrem Hütchen befestigt, sondern nur aufgelegt, so daß man sie ab en, umkehren (d. h. die bis dahin nach oben gerichtete Fläche nach unten wenden) und dann wieder auflegen kann. In Fig. 22 (a. f. S.) stelle z. B. *ab* die Lage einer horizontalen Magnetnadel

dar, deren magnetische Axe in die Linie *dc* fällt, so ist die Gradzahl, auf welche die Spitze *a* der Nadel deutet, offenbar kleiner als der gesuchte Declinationswinkel. Legt man aber nun die Nadel in der angegebenen Weise um, so nimmt sie jetzt die Lage *a′b′* an, und es deutet die Spitze *a′* der Nadel auf eine Gradzahl, welche um eben so viel zu groß ist, wie sie vorher zu klein war; man erhält also den wahren Werth der Declination, wenn man aus den beiden Ablesungen bei *a* und *a′* das Mittel nimmt.

Fig. 22.



Die Declinationsbussole, deren sich die Seefahrer bedienen, ist unter dem Namen des Compasses bekannt.

Im Ganzen nähert sich die Richtung der Magnetnadel mehr der Richtung von Norden nach Süden als der von Osten nach Westen, daher man denn gewöhnlich sagt, die Magnetnadel zeigt nach Norden.

8 **Magnetische Inclination.** Die Magnetnadeln, welche wir bisher betrachtet haben, sind in einer Weise aufgehängt, daß sie sich nur in einer horizontalen Ebene, also um eine verticale Axe drehen können. Sowohl bei der Fig. 2, als auch bei der Fig. 3 dargestellten Aufhängung ist die horizontale Stellung dadurch gesichert, daß der Schwerpunkt der Nadel unter dem Aufhängepunkte liegt. Sobald man aber eine Magnetnadel in ihrem Schwerpunkte selbst aufhängt, so bleibt sie nicht mehr wagerecht stehen, sondern sie macht einen Winkel mit der Horizontalen, welcher den Namen der Inclination führt.

Der Fig. 23 abgebildete Apparat ist sehr geeignet, die Inclination der Magnetnadel zu zeigen. An einem Rahmen von Messing, welcher an einem Faden aufgehängt ist, befindet sich eine sehr leicht bewegliche horizontale Axe *ab*, welche durch den Schwerpunkt einer Magnetnadel geht. Man sieht, daß eine so aufgehängte Magnetnadel um eine verticale und um eine horizontale Axe sich drehen und also dem richtenden Einflusse der Erde ganz frei folgen kann. Die Nadel stellt sich nun so, daß ihre Richtungslinie in den magnetischen Meridian fällt; das nach Norden gekehrte Ende der Nadel aber senkt sich, die Richtungslinie der Nadel macht also einen Winkel mit der Horizontalen, der in unseren Gegenden ungefähr 70° beträgt.

Wenn die Inclinationsnadel in einem getheilten Verticalkreise angebracht ist, dessen Ebene mit der Umdrehungsebene der Nadel zusammenfällt, wie Fig. 24, so kann man auf diesem Kreise die Größe der Inclination ablesen, wenn

Fig. 23.

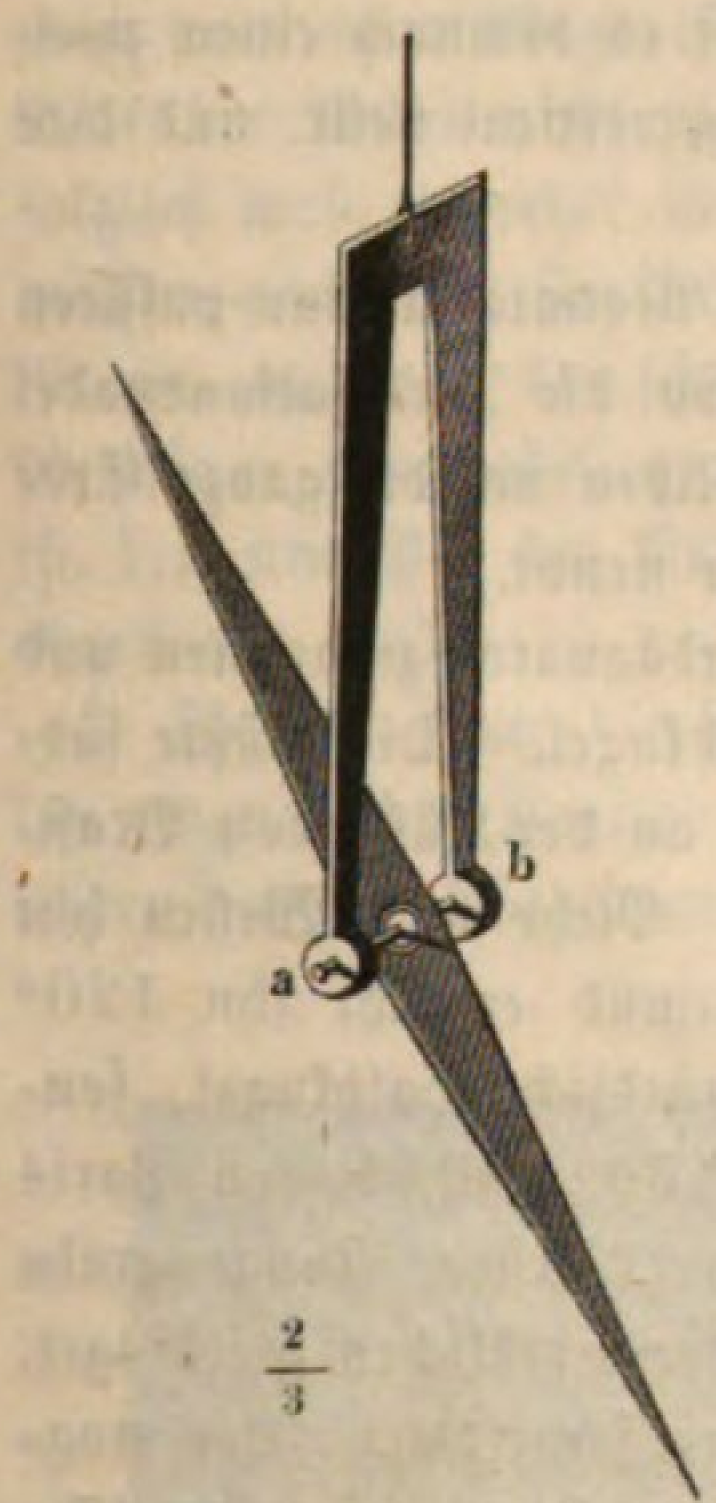
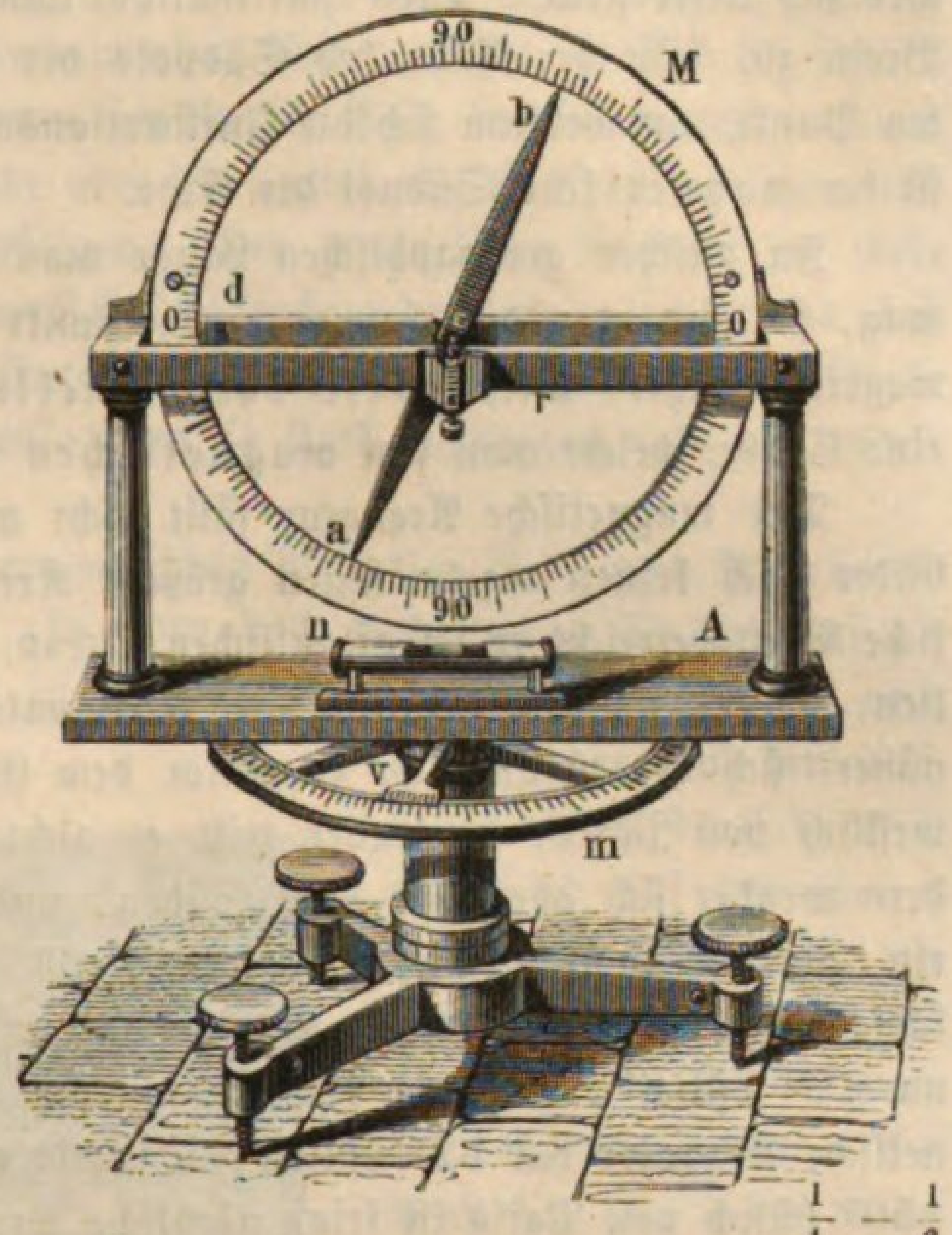


Fig. 24.



man dafür sorgt, daß die Ebene des Verticalkreises genau in den magnetischen Meridian fällt.

Solche Apparate, welche dazu dienen, die Inclination zu messen, heißen **Inclinatorien** oder **Inclinationsbussolen**.

Auch bei den Inclinationsbussolen muß man, um möglichst genaue Resultate zu erhalten, die **Methode des Umlegens** in Anwendung bringen, d. h. nachdem man die erste Ablesung gemacht hat, muß man die Nadel von ihrer Unterlage abheben und so wieder aufsetzen, daß die Seite, welche bisher die östliche war, nun die westliche wird, und danach eine zweite Ablesung vornehmen.

Die Größe der Inclination nimmt im Allgemeinen zu, je mehr man nach Norden kommt; an manchen Orten nimmt die Inclinationsnadel eine fast senkrechte Stellung an; so beobachtete z. B. Kapitän **Philipps** im Jahre 1773 unter 79° 44′ nördlicher Breite eine Inclination von 82° 9′, und **Parry** unter 70° 47′ eine Inclination von 88° 43′. Kapitän **Roß** endlich hat den magnetischen Nordpol der Erde selbst erreicht. Unter 70° 5′ N. B. und 263° 14′ östlich von Greenwich fand er die Inclination 90°. Die Neigung der Magnetnadel ist in hohen Breiten so bedeutend, daß der Compaß für die Seefahrer seine Brauchbarkeit verliert, wie es sich bei den letzten Nordpolexpeditionen gezeigt hat.

Je weiter man hingegen nach Süden geht, desto mehr nimmt die Inclina-

tion ab, und in der Aequatorialzone kommt man zu einem Punkte, wo die Inclination Null ist, wo also die Inclinationsnadel vollkommen wagerecht steht; geht man noch weiter nach Süden, so beobachtet man abermals eine Inclination, aber eine entgegengesetzte, es ist nun das nach Süden gekehrte Ende, welches sich tiefer stellt. Diese Inclination nimmt nun ebenfalls mit der südlichen Breite zu. In der Nähe des Südpols der Erde giebt es demnach einen zweiten Punkt, an welchem sich die Inclinationsnadel völlig vertical stellt, und dies ist der magnetische Südpol der Erde.

In welcher geographischen Länge man auch die Aequatorialzone passiren mag, so wird man doch immer einen Punkt finden, wo die Inclinationsnadel wagerecht steht. Diese Orte ohne Inclination bilden um die ganze Erde eine Curve, welche man den magnetischen Aequator nennt.

Der magnetische Aequator fällt nicht mit dem Erdäquator zusammen und bildet auch keinen regelmäßigen größten Kreis der Erdkugel. Die größte südliche Breite erreicht er im atlantischen Ocean, ungefähr an der Küste von Brasilien, wo er sich 14° südlich vom Erdäquator findet. Mehr nach Westen hin nähert sich der magnetische Aequator dem Erdäquator und erreicht ihn 120° westlich von Paris; hier aber tritt er nicht auf die nördliche Halbkugel, sondern wendet sich abermals nach Süden, und erreicht 160° westlich von Paris ein zweites südliches Maximum von 3° 75′. Im 174sten Längengrade schneidet er den Erdäquator und bleibt von da auf der nördlichen Halbkugel, um 18° östlich von Paris den Erdäquator abermals zu schneiden. Der magnetische Aequator hat 62° östlich von Paris eine nördliche Breite von 11° 47′; 150° östlich von Paris ist seine nördliche Breite 7° 44′; 130° östlich von Paris ist sie 8°. 57′. Diese Angaben reichen hin, um im Allgemeinen die Lage des magnetischen Aequators zu bestimmen und die Unregelmäßigkeit seines Laufes zu zeigen.

Die Entdeckung der Inclination wird gewöhnlich einem Engländer Robert Normann zugeschrieben, der wenigstens im Jahre 1576 ein Inclinatorium construirt hat. Schon 33 Jahre früher aber kannte Georg Hartmann, Vicar zu St. Sebald in Nürnberg, die Inclination der Magnetnadel. Ihm ist auch die Entdeckung des Gesetzes zuzuschreiben, daß gleichnamige Polaritäten sich abstoßen, ungleichnamige sich anziehen.

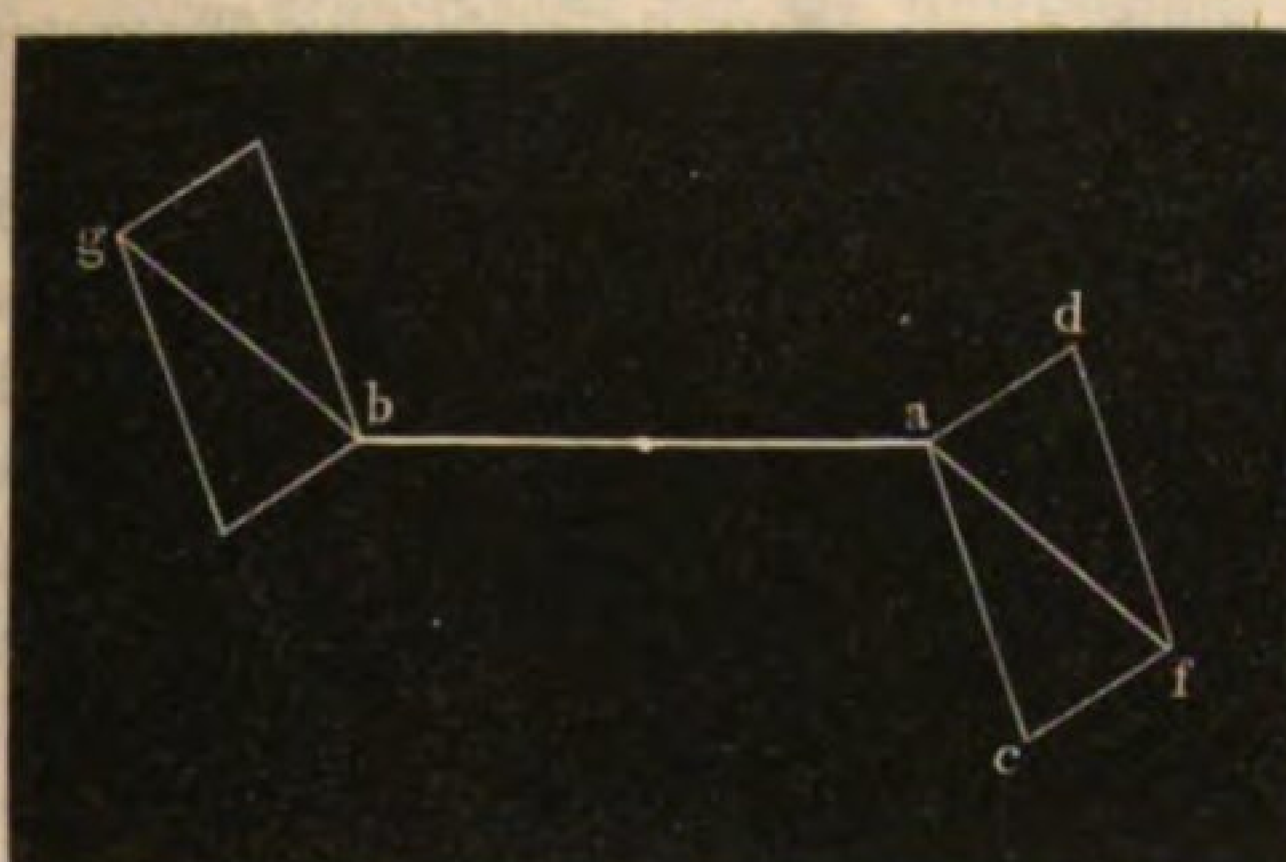
9 **Richtende Kraft des Erdmagnetismus.** Die Totalwirkung, welche die Erde auf eine Magnetnadel ausübt, ist nur eine richtende, aber keine anziehende, denn wenn letzteres der Fall wäre, so müßte eine Magnetnadel mehr wiegen, als vorher, da sie noch nicht magnetisch gemacht worden war. Wenn man eine Magnetnadel auf einen Kork legt, welcher auf Wasser schwimmt, so stellt sie sich in den magnetischen Meridian, sie zeigt aber kein Bestreben, nach Norden zu schwimmen, wie man vielleicht hätte erwarten können.

Nähert man der schwimmenden Nadel einen Magnetstab, so findet entweder eine Anziehung oder eine Abstoßung Statt, je nachdem man sich mit dem einen

oder dem anderen Pole des Magneten nähert; die Nadel schwimmt dem Magneten zu oder von ihm weg. Warum schwimmt nun die Nadel nicht dem magnetischen Nordpol zu, wenn sich doch die Erde nicht anders als wie ein großer Magnet verhält? Der Grund ist folgender: Die Kraft der magnetischen Anziehung nimmt mit der Entfernung ab, wie wir bald sehen werden. Wenn man nun einen Magnetstab der schwimmenden Nadel nähert, so sind die beiden Pole der Nadel nicht gleich weit vom genäherten Pole des Magneten entfernt, folglich muß entweder die abstoßende oder die anziehende Kraft überwiegen und mithin auch eine Fortbewegung erfolgen. Der magnetische Nordpol der Erde ist aber nun von der schwimmenden Nadel so außerordentlich weit entfernt, daß die Länge der Nadel gegen diese Entfernung eine völlig verschwindende Größe ist, der eine Pol der Nadel wird also eben so stark angezogen, als der andere abgestoßen wird.

Welches auch die Lage der magnetischen Pole der Erde (der Mittelpunkt der magnetischen Kräfte) sein mag, so üben doch beide einen Einfluß auf die beiden Pole des Magneten aus. Es sei *ab* Fig. 25 eine Magnetnadel, *a* der eine, *b* der andere Pol derselben.

Fig. 25.



Der Nordpol der Erde wirkt anziehend auf den Pol *a* in einer Richtung, die wir nicht ermitteln können, die wir aber durch die Linie *ac* darstellen wollen. Auf denselben Pol *a* der Nadel wirkt aber der Südpol der Erde abstoßend in der Richtung *ad* (die auch nicht ermittelt werden kann). Weil wir nun in unseren Gegenden dem magnetischen Nordpol der Erde näher sind als dem Südpol, so ist die Anziehung stärker als die Abstoßung; die beiden Kräfte verbinden sich nach dem Gesetze des Parallelogramms der Kräfte zu einer Resultirenden *af*. Auf den Pol *b* der Nadel wirkt nun der Nordpol der Erde abstoßend, und zwar in derselben Richtung und mit derselben Stärke, wie er den Pol *a* anzieht; der Südpol der Erde zieht aber den Pol *b* in derselben Richtung und mit derselben Stärke an, wie er den anderen abstößt. Die beiden Kräfte, welche den Pol *b* angreifen, sind also den beiden in *a* angreifenden Kräften parallel, gleich und entgegengesetzt, mithin müssen auch die Resultirenden *bg* und *af* parallel, gleich und entgegengesetzt sein. Wenn aber die um ihren Schwerpunkt frei drehbare Nadel in ihren Polen von zwei gleichen, parallelen und entgegengesetzten Kräften angegriffen wird, so werden sie nur eine Drehung der Nadel um ihren Schwerpunkt bewirken können, die Nadel befindet sich aber in ihrer Gleichgewichtslage, wenn die magnetische Axe der Nadel, d. h. die Verbindungslinie der Pole *a* und *b* in der

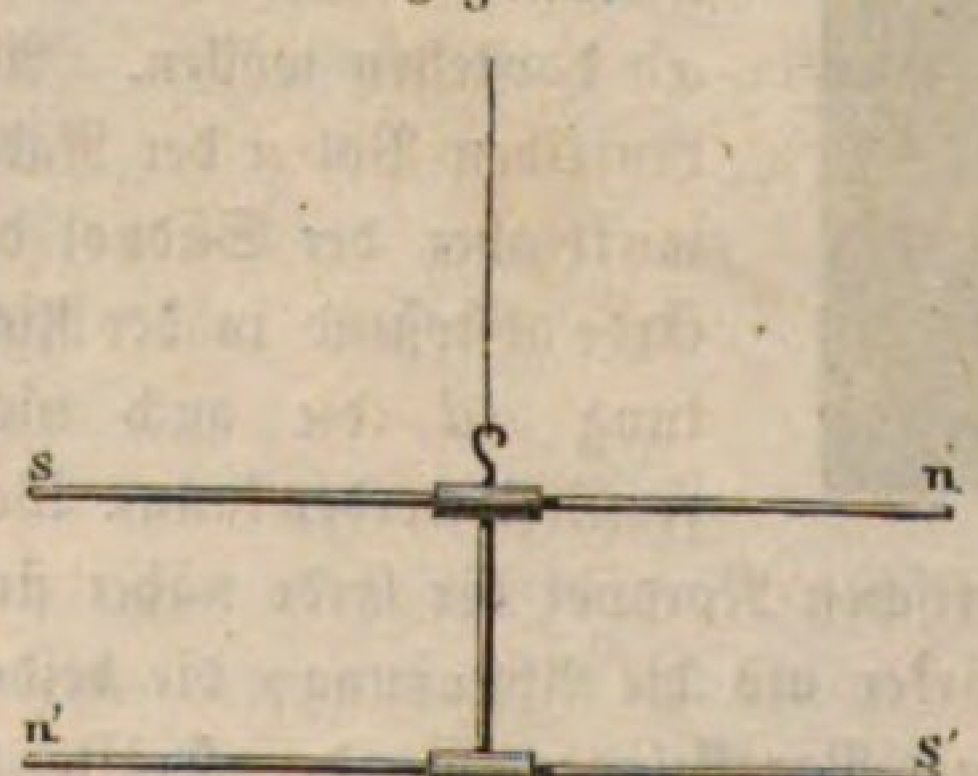
Richtung der Resultirenden af und bg fällt, wenn also auch af in der Verlängerung von bg liegt.

Diese Gleichgewichtslage beobachteten wir nun an der Inclinationsnadel; die Richtung der Inclinationsnadel fällt mit der Resultirenden der auf die Nadel wirkenden magnetischen Kräfte der Erde zusammen.

Bei der Declinationsnadel ist ein Theil der Wirkung der magnetischen Erdkräfte durch die Art, wie die Nadel aufgehängt ist, aufgehoben, bei der Declinationsnadel kommt nur die horizontale Composante der die Nadel richtenden magnetischen Erdkraft zur Wirkung, und diese horizontale Composante wird natürlicher Weise um so geringer sein, je mehr die Inclination wächst. Je weiter man sich also vom magnetischen Aequator entfernt, um so geringer ist die Kraft, welche die Declinationsnadel richtet.

10 **Astatische Nadeln.** Für mancherlei Versuche, namentlich wenn es sich darum handelt, schwache magnetische Kräfte nachzuweisen, ist es von Wichtigkeit, Magnetnadeln zu haben, welche, selbst stark magnetisch, nur durch eine geringe Kraft in dem magnetischen Meridian zurückgehalten werden. Gewöhnlich erreicht man diesen Zweck dadurch, daß man statt einer einzigen Magnetnadel ein sogenanntes astatisches Nadelpaar in Anwendung bringt, wie ein solches Fig. 26 dargestellt ist. Es sind hier zwei Magnetnadeln so mit einander verbunden, daß sie einander parallel sind, daß aber der Nordpol der einen nach derselben Seite gerichtet ist, nach welcher der Südpol der anderen schaut. Bei einem solchen Systeme ist die richtende Kraft des Erdmagnetismus außerordentlich gering, denn sie ist nur die Differenz der Kräfte, mit welchen der Erdmagnetismus jede einzelne Nadel zu richten strebt. Wäre das magnetische Moment der beiden Nadeln vollkommen gleich, so würde die richtende Kraft, welche die Erde auf ein solches System ausübt, gleich Null sein.

Fig. 26.



Man hat verschiedene Methoden angewandt, um die beiden Nadeln in der erwähnten gegenseitigen Lage mit einander zu verbinden. Eine der einfachsten und zweckmäßigsten Vorrichtungen ist die in unserer Figur dargestellte. Die Nadeln sind in zwei Hülsen eingeschoben, welche aus dünnem Charnierdraht von Silber gemacht und durch ein Stäbchen von Silberdraht verbunden sind.

Statt eine Nadel auf die eben erwähnte Weise durch Combination mit einer zweiten nahezu gleich starken astatisch zu machen, kann man diesen Zweck auch dadurch erreichen, daß man in den magnetischen Meridian einer einfachen Magnetnadel einen Magnetstab legt, wie Fig. 27 darstellt, welcher die Wirkung des Erdmagnetismus nahezu neutralisirt. Während der Erdmagnetismus die Nadel so stellt, daß ihr Nordpol in n, ihr Südpol in s ist, würde der Magnetstab NS, bei

der in unserer Figur dargestellten Lage die Nadel gerade umkehren, also ihren Nordpol nach *s* bringen. Bei einem bestimmten Abstande des Stabes wird er dem Erdmagnetismus vollkommen das Gleichgewicht halten, die Nadel ist alsdann vollkommen astatisch; wenn man aber den Magnetstab mehr und mehr von der Nadel entfernt, so wird auch die richtende Kraft des Erdmagnetismus auf dieselbe wieder mehr zur Geltung kommen. Kurz man hat es auf diese Weise ganz in seiner Gewalt, durch Annähern oder Entfernen des Stabes *NS* die richtende Kraft der Erde beliebig zu verkleinern.

F. 27.



Das Magnetometer. Die Genauigkeit, mit welcher man die 11
Lage des magnetischen Meridians mittelst einer Bussole bestimmen kann, hängt begreiflicher Weise unter Anderem auch von dem Durchmesser des getheilten Kreises, also von der Länge der Nadel ab; diese darf man aber nicht zu lang machen, weil sie sonst zu schwer und die Reibung auf der Stahlspitze zu groß wird. Somit ist begreiflich, daß man mit einer solchen Bussole keine bedeutende Genauigkeit erreichen kann; eine ganz neue Epoche für die Untersuchung der Gesetze des Magnetismus und namentlich des Erdmagnetismus begann deshalb, als Gauß durch die Construction seines Magnetometers es möglich machte, die Richtung der horizontalen Magnetnadel mit astronomischer Genauigkeit zu bestimmen und die geringsten Veränderungen derselben zu beobachten. Er erreichte dies dadurch, daß er statt der auf Spitzen spielenden Magnetnadel Magnetstäbe anwandte, welche er an einem Metalldrahte oder an einem Bündel ungedrehter Seidenfäden aufhing und an denselben die Poggendorff'sche Spiegelvorrichtung anbrachte. Der Spiegel *m* befindet sich entweder an dem einen Ende des Magnetstabes, wie bei dem Magnetometer, Fig. 28, oder er ist

Fig. 28.

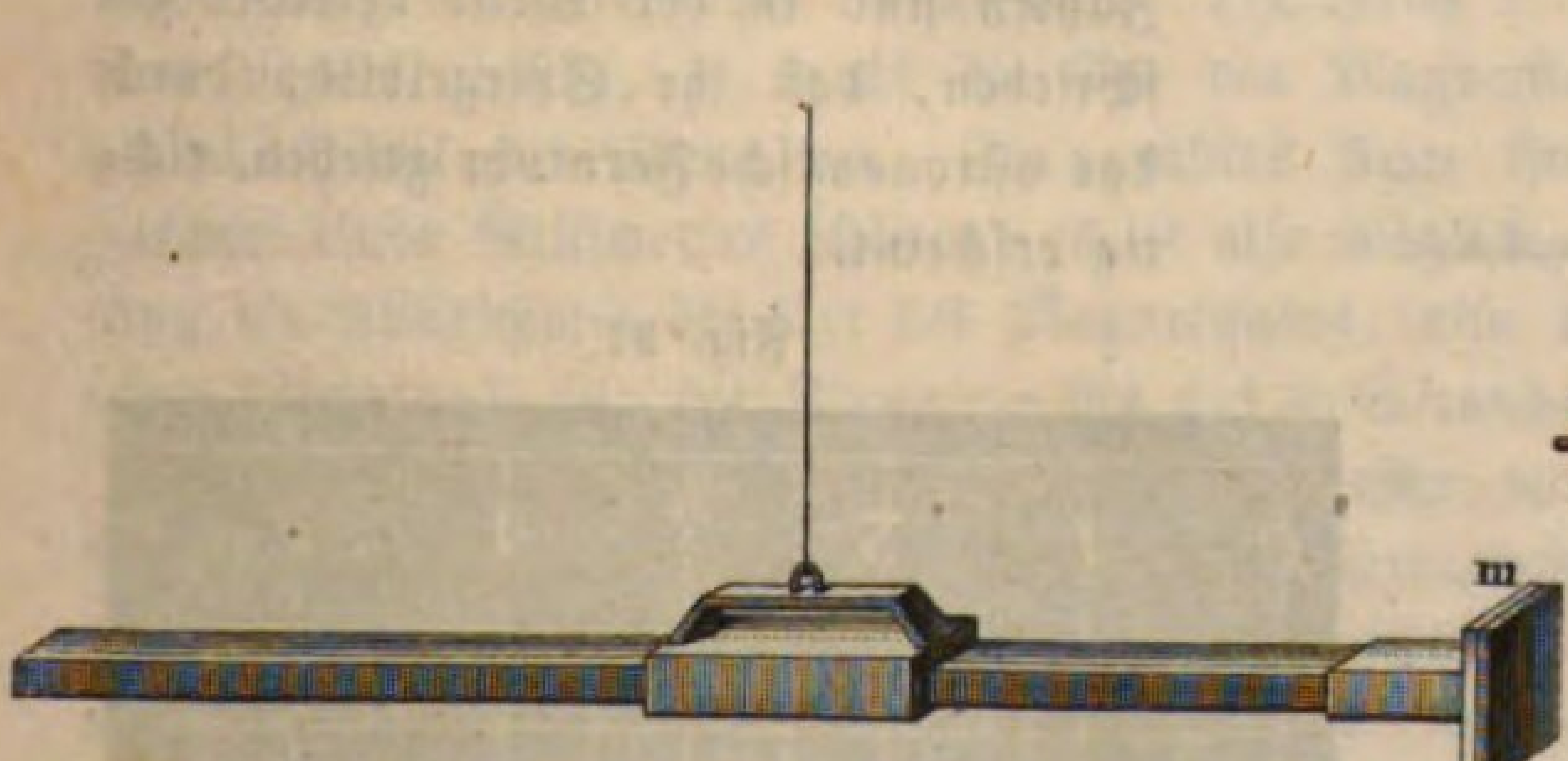
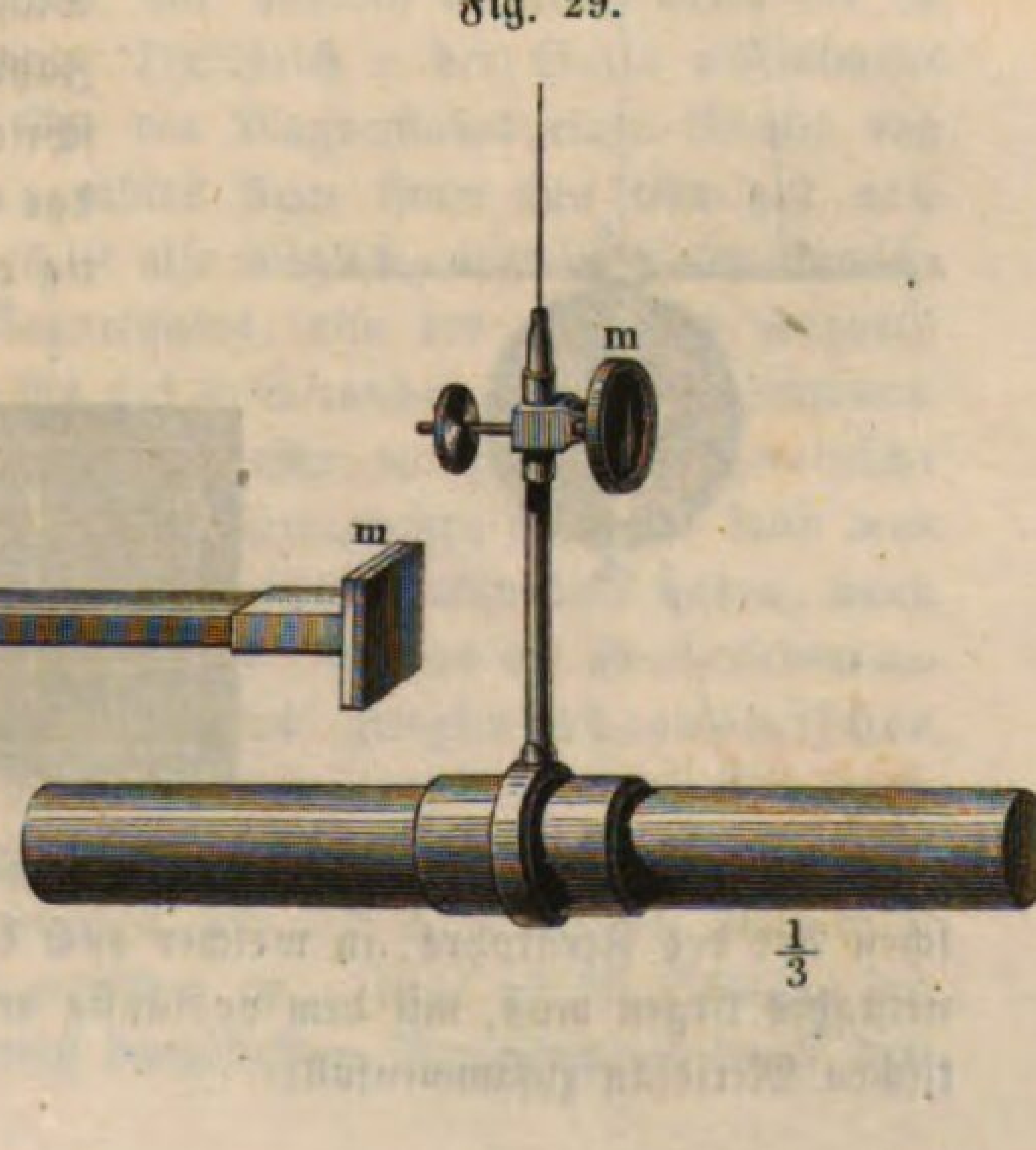


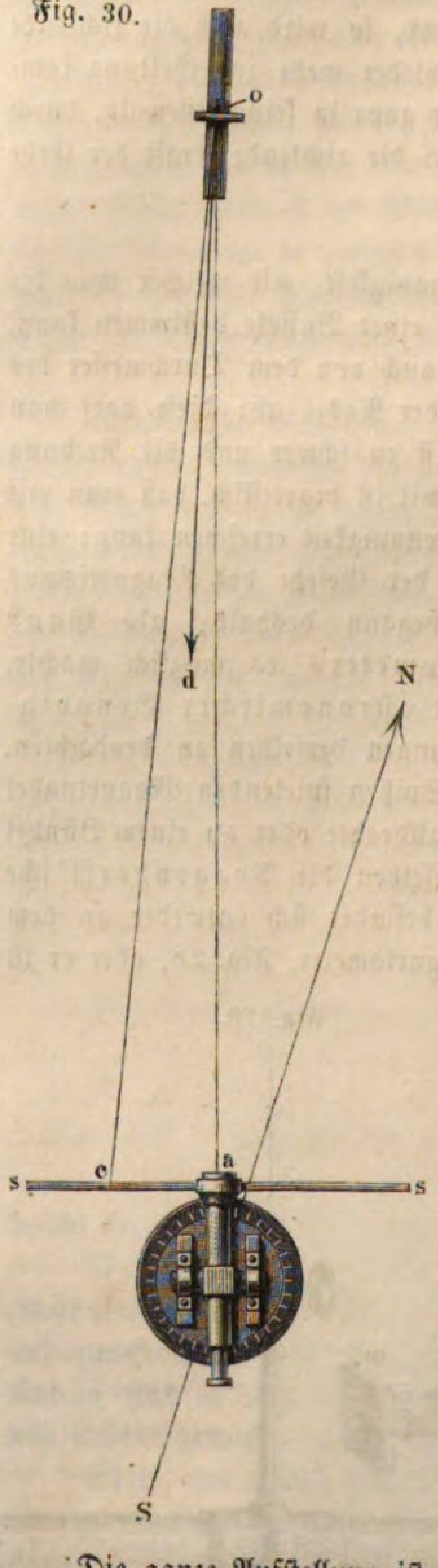
Fig. 29.



an der Aufhängevorrichtung angebracht, wie Fig. 29. Bevor wir zu anderen Erläuterungen übergehen, wollen wir zunächst die Anwendung dieses Spiegels kennen lernen.

Dem Spiegel gegenüber, dessen Ebene, wie wir zunächst annehmen wollen, rechtwinklig auf der magnetischen Axe des Magnetstabes steht, wird in einer Entfernung von 5 bis 15 Fuß ein Theodolit aufgestellt, ungefähr wie es Fig. 30 angedeutet ist. Die optische Axe des Fernrohrs ist etwas höher als der Stab und so abwärts geneigt, daß sie gegen die Mitte des Spiegel gerichtet ist.

Fig. 30.

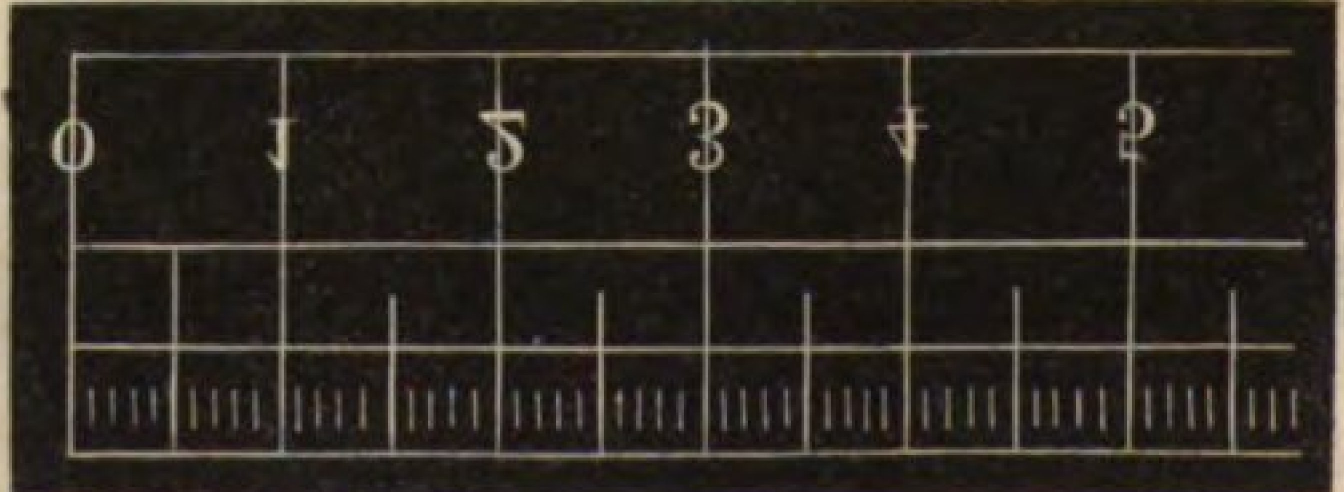


Am Stativ des Theodoliten ist eine 1 Meter lange, in Millimeter getheilte horizontale Scala befestigt, die nahezu parallel mit dem horizontalen Durchmesser des Spiegels ist. Derjenige Punkt *a* der Scala *ss*, welcher mit der optischen Axe des Fernrohrs in einer Verticalebene liegt und hier der Kürze wegen der Mittelpunkt heißen mag, wird durch einen vor der Mitte des Objectivs herabhängenden, mittelst eines Messingringes an der Fassung desselben befestigten, unten durch ein kleines Gewicht beschwerten feinen Draht von dunkler Farbe bezeichnet.

Die Scala ist in einer solchen Höhe befestigt, daß das Bild eines Theils derselben im Spiegel durch das Fernrohr gesehen wird.

Fig. 31 stellt einen Theil dieser Scala in natürlicher Größe dar. Die Zahlen sind in der Weise verkehrt geschrieben, daß ihr Spiegelbild, durch das astronomische Fernrohr gesehen, richtig erscheint.

Fig. 31.



Die ganze Aufstellung ist nun so gemacht, daß die Verticalebene der optischen Axe des Fernrohrs, in welcher auch die verticale Drehungsaxe des Magnetstabes liegen muß, mit dem vorläufig annähernd genau bestimmten magnetischen Meridian zusammenfällt.

Wenn die Axe des Magneten wirklich genau mit der Verticalebene des Fernrohrs zusammenfällt, so erscheint das Bild des vor der Mitte der Scala hängenden Fadens in der Axe des Fernrohrs; sobald aber der Magnetstab aus dieser Ebene abweicht, erscheinen andere Theilstriche am verticalen Faden des Fadenkreuzes im Fernrohr, so daß man die geringste Abweichung mit Sicherheit erkennen und auch messen kann.

Erscheint statt des erwähnten Mittelpunktes *a* der Scala der Punkt *c* am Fadenkreuz, so wird der von *c* ausgehende Strahl *co* vom Spiegel in der Richtung *oa* reflectirt. Ein auf der Ebene des Spiegels errichtetes Perpendikel *od* muß den Winkel *coa* halbiren; *doa* aber ist offenbar dem Winkel gleich, um welchen der Spiegel, also auch, um welchen die Axe des Magnetstabes aus der Ebene des vorläufig bestimmten magnetischen Meridians *ao* herausgedreht worden ist, dieser Winkel ist also gleich der Hälfte des Winkels *coa*.

Um den Winkel zu ermitteln, welchen die Axe des Magneten mit der Ebene *ao* macht, hat man also nur den Winkel *coa* zu bestimmen, was leicht ist, wenn man die Entfernung *ao* des Spiegels von der Scala kennt, da ja die Entfernung *ca* unmittelbar auf der Scala abgelesen wird.

Gesetzt, *ca* sei 1 Centimeter, *ao* aber sei 5 Meter (dies ist in der That beim Gauß'schen Magnetometer die Entfernung des Spiegels von der Scala), so ist $ca = \frac{1}{500} = 0{,}002$ von *ao*, wir haben also zur Bestimmung des Winkels *coa* die Proportion

$$3{,}14 : 180^0 = 0{,}002 : \text{Winkel } coa.$$

Es ergiebt sich also Winkel $coa = 0{,}114^0 = 6{,}84'$.

Ist der am Fadenkreuz des Fernrohrs erscheinende Punkt *c* nur 1 Millimeter von *a* entfernt, so ist Winkel $coa = 0{,}684' = 41''$; die entsprechende Drehung des Magnetstabes aus der Ebene *ao* betrüge also für diesen Fall $\frac{41}{2} = 20{,}5''$, jeder Theilstrich der Scala entspricht also einer Drehung des Magnetstabes von 20,5 Secunden oder, mit anderen Worten, wenn der im Fadenkreuz des Fernrohrs erscheinende Theilstrich *c* der Scala *n* Millimeter weit von *a* absteht, so macht die Axe des Magnetstabes einen Winkel von $n . 20{,}5''$ mit der Ebene *ao*. Ein geübtes Auge kann nun sehr gut noch Zehntel eines Millimeters schätzen; es ist also möglich, mittelst dieser Vorrichtung die Abweichung der Axe des Magnetstabes, also des wirklichen magnetischen Meridians, von der Ebene *ao* bis auf 2 Secunden genau zu bestimmen.

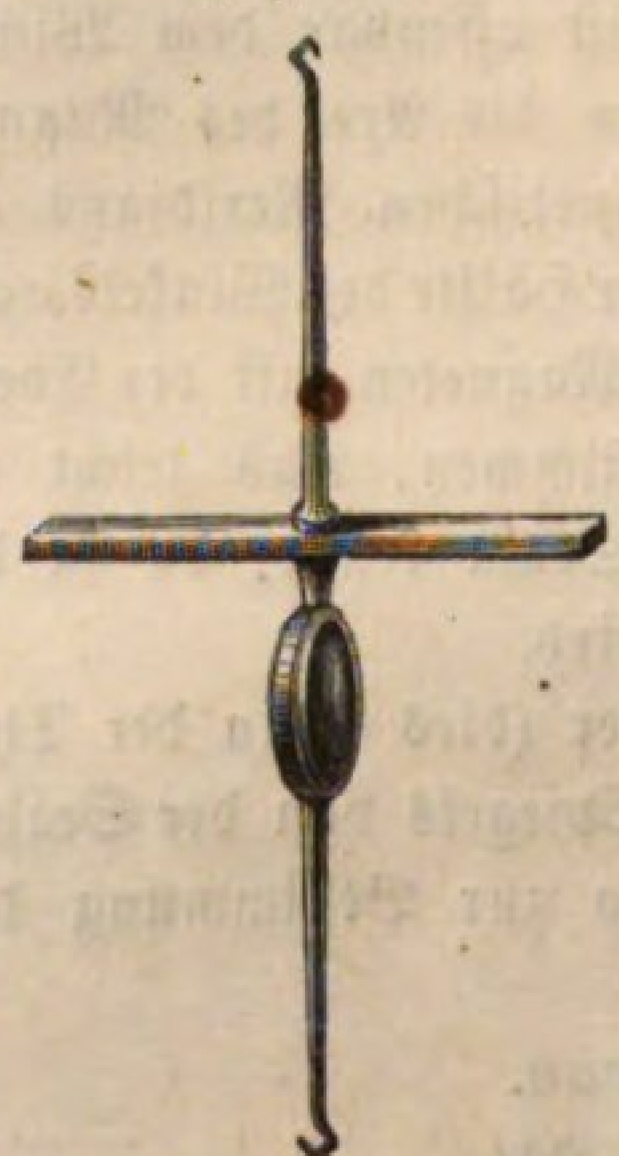
Hat man auf diese Weise den Winkel gemessen, welchen der magnetische Meridian *od* mit der Verticalebene *oa* der Fernrohraxe macht, so kann man nun leicht auch den genauen Werth der magnetischen Declination finden, wenn man mit Hülfe des Theodolits den Winkel mißt, welchen die Verticalebene *ao* mit dem durch den Mittelpunkt des Theodolits gelegten astronomischen Meridian *NS* macht, dessen Lage natürlich schon vorher ermittelt sein muß.

Das eben beschriebene Verfahren setzt voraus, daß die Ebene des Spiegels *m* genau rechtwinklig auf der magnetischen Axe des Stabes stehe, was wohl mit absoluter Genauigkeit kaum zu erreichen ist. Zwar ist die Stellung des Spiegels an dem in Fig. 28 schematisch dargestellten Magnetometer durch drei

Schrauben regulirbar, welche in unserer Figur weggelassen sind; allein dieses Reguliren ist selbst nur durch die Methode des Umlegens möglich.

Die Methode des Umlegens kann bei Magnetometern aber nur dann angewandt werden, wenn der Spiegel fest mit dem Magnetstabe verbunden ist, so daß er beim Umlegen des Stabes mit umgedreht ist, wie dies z. B. bei dem Magnetometer Fig. 28 der Fall ist, wenn man den Stab aus der Hülse herausnimmt und ihn so umkehrt, daß die Fläche, welche zuerst die obere war, nun die untere ist. Fig. 32 zeigt eine andere Einrichtung des Magnetometers, bei welcher ebenfalls die Methode des Umlegens anwendbar ist; je nachdem man diese Vorrichtung in dem einen oder in dem anderen Haken aufhängt, befindet sich der Magnetstab über oder unter dem Spiegel.

Fig. 32.



Bei dem Magnetometer, Fig. 29, läßt sich die Methode des Umlegens nicht in Anwendung bringen; eine solche Vorrichtung wird aber auch nicht gebraucht, um den absoluten Werth der magnetischen Declination zu bestimmen, sondern nur, um die Variationen in der Richtung des Magnetstabes genau zu messen, welche entweder durch Aenderungen im Erdmagnetismus, oder durch andere Magnetstäbe oder auch durch galvanische Ströme hervorgebracht werden. Zu diesem Zwecke ist es auch ganz gleichgültig, welchen Winkel die Spiegelebene mit dem magnetischen Meridian macht.

Nachdem wir nun gesehen haben, wie man mit Hülfe des Magnetometers die magnetische Declination bestimmen kann, wollen wir die Construction dieses wichtigen Apparates noch etwas näher betrachten.

Gauß wandte zu seinen Magnetometern Stahlstäbe von 5 bis 25 Pfund an; dieselben sind mittelst eines Stahldrahtes oder mittelst eines Bündels ungedrehter Seidenfäden an der Decke des Beobachtungslocales aufgehängt und, um sie vor Luftströmungen zu schützen, von einem achteckigen Gehäuse umgeben, welches nur zwei Oeffnungen hat; die eine oben, um den Aufhängefaden durchzulassen, die andere an der Stelle der Seitenwand, welche dem Spiegel gegenübersteht, um durch dieselbe nach dem Spiegel hinsehen zu können. Letztere Oeffnung ist mit einer geschliffenen Glasplatte geschlossen.

Fig. 33 stellt ein von Leyser in Leipzig ausgeführtes transportables Magnetometer dar; wie an dem 18 Centimeter langen Magnetstabe die Spiegelvorrichtung angebracht ist, haben wir bereits in Fig. 29 gesehen. Ein Bündel ungedrehter Seidenfäden, welches den Magnetstab trägt, ist an der oberen Deckplatte des kupfernen Rohres r befestigt. Der Magnetstab selbst hängt in einem länglichen Gehäuse von starkem Kupferblech, welches oben ein Loch hat, um das Aufhängungsstäbchen durchzulassen und dessen seitliche Oeffnungen, welche in unserer Figur offen geblieben sind, damit man den Magnetstab besser sehen kann, durch Glasrähmchen geschlossen sind. Auch die Stelle

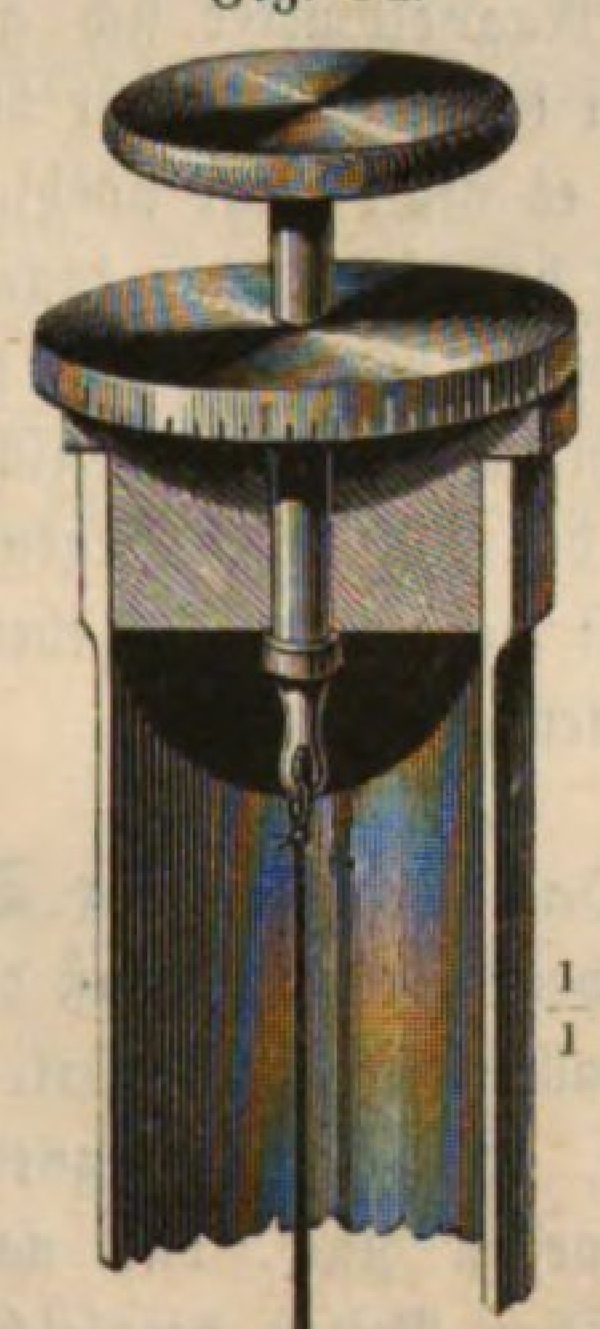
bei *d* wird mit einem Blechcylinder umgeben, welcher nur den Spiegel gegenüber eine mit einer geschliffenen Glasplatte verschlossene Oeffnung hat. In unserer Figur erscheint das Gehäuse, in welchem der Magnet spielt, mit übersponnenem Kupferdraht umwickelt, dessen Zweck erst später besprochen werden kann.

Fig. 33.



Bei genauen Untersuchungen ist es nothwendig, daß der Aufhängefaden vollkommen ohne Torsion sei, wenn der Magnetstab im magnetischen Meridian steht, daß also, wenn man den Magnetstab

Fig. 34.



durch einen nicht magnetischen, etwa durch einen Messingstab ersetzte, derselbe auch im magnetischen Meridian bliebe. Um nun zu machen, daß der Faden für die richtige Einstellung des Stabes wirklich torsionsfrei sei, muß man den oberen oder unteren Anknüpfungspunkt des Fadens so weit drehen können, bis diese Bedingung erreicht ist. Fig. 34 stellt die an dem Magnetometer Fig. 33 zu diesem Zweck angebrachte Vorrichtung dar.

Was die Beobachtung des Magnetometers betrifft, so ist noch folgende wichtige Bemerkung zu machen: Der Magnetstab steht in der Regel nicht fest im magnetischen Meridian, sondern er oscillirt um seine Gleichgewichtslage, und zwar sind die Oscillationen um so langsamer, je bedeutender die Masse des Magnetstabes ist; die Richtung der Axe des Magnetstabes ergiebt sich demnach auch nicht aus einer einzigen Ablesung, wie oben angenommen wurde, sondern man findet die Gleichgewichtslage des Stabes, indem man das Mittel zwischen den Grenzen nimmt, innerhalb welcher der Stab hin und her schwingt.

Da nun aber dieser Umstand die Beobachtungen sehr erschwert, so hat man gesucht, diese Schwankungen möglichst zu reduciren, was durch die sogenannte Dämpfung gelungen ist. Man umgiebt nämlich den Stab mit einem möglichst massiven kupfernen Bügel (das kupferne Gehäuse des Apparates), und dieser bewirkt, daß, wenn der Stab auch in Schwingungen gerathen ist, dieselben doch sehr rasch kleiner werden und der Stab eine fast stationäre Stellung annimmt, wie es bei dem obigen Apparate wirklich der Fall ist. In welcher Weise der kupferne Dämpfer dies bewirkt, kann erst später bei Gelegenheit der Inductionsströme erläutert werden.

Der magnetische Meridian ist keineswegs, wie bisher angenommen wurde, eine unveränderlich feste Ebene wie der astronomische Meridian, sondern er ist in beständigen Schwankungen begriffen, welche an gewöhnlichen Bussolen freilich nicht wahrnehmbar sind, zu deren Beobachtungen aber das eben beschriebene Magnetometer sich ganz vorzüglich eignet. Will man nun diese Variationen beobachten, nicht aber den absoluten Werth der Declination bestimmen, so ist es nicht mehr nöthig, daß der Spiegel rechtwinklig zur Axe des Magnetstabes befestigt ist; er kann dann jeden beliebigen Winkel mit dem magnetischen Meridian machen und das Beobachtungsfernrohr braucht alsdann auch nicht mehr in der Verlängerung des Stabes zu liegen, sondern kann seitlich aufgestellt werden, wie es eben bei den disponibelen Localitäten bequem ist.

12 **Das magnetische Theodolit.** Da es höchst wünschenswerth ist, daß die magnetische Declination nicht allein für solche Orte mit Genauigkeit bestimmt werde, an welchen magnetische Observatorien errichtet worden sind, daß namentlich auch auf wissenschaftlichen Reisen dergleichen Bestimmungen gemacht werden, so ist es höchst wichtig, daß die für solche Zwecke nöthigen Apparate möglichst vereinfacht, daß sie bei großer Genauigkeit doch compendiös und leicht

Fig. 35.

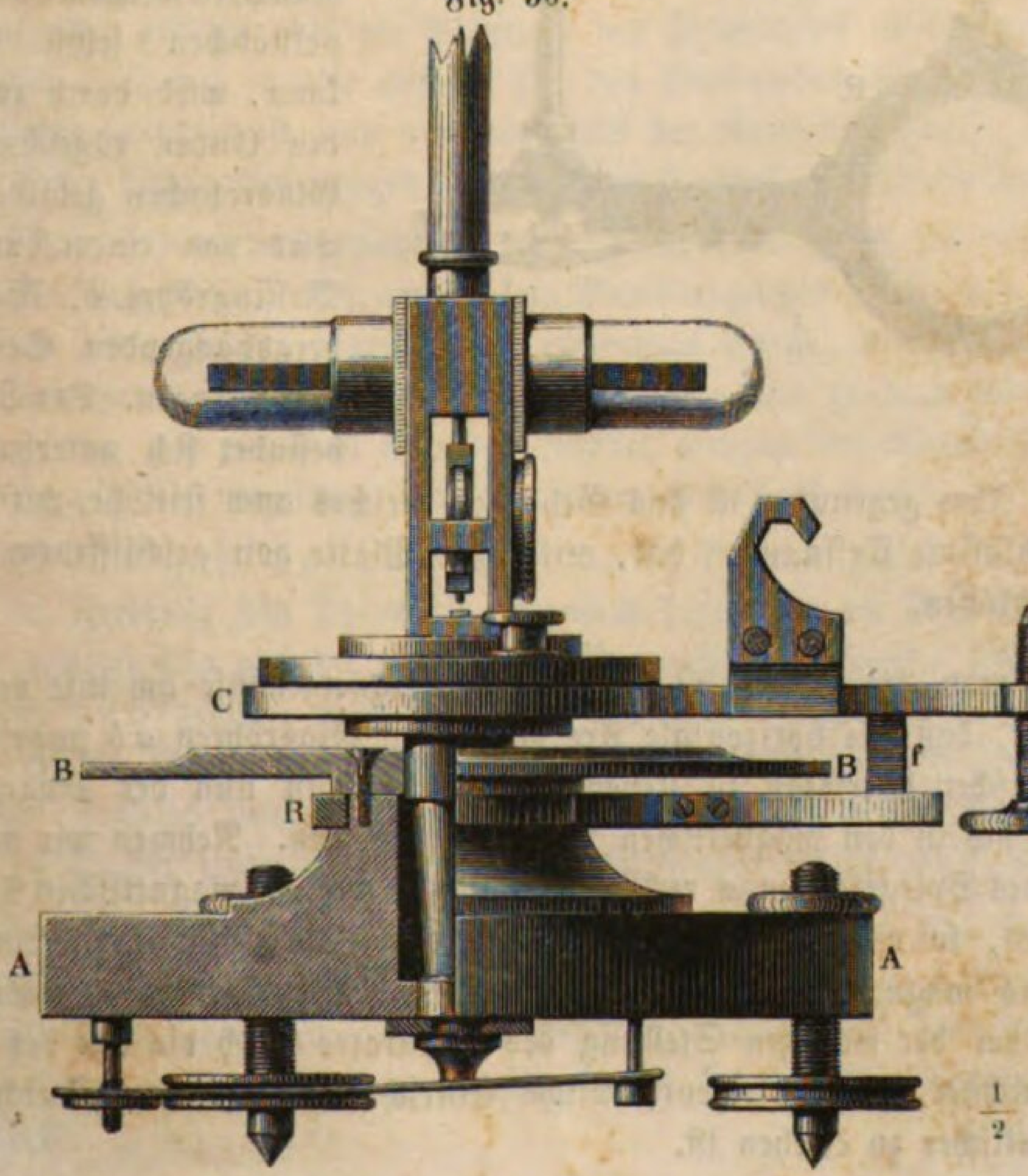


transportabel gemacht werden. In dieser Beziehung hat sich vor Allen Lamont durch die Construction seines magnetischen Reisetheodoliten große Verdienste erworben.

Fig. 35 ist eine perspectivische Ansicht von Lamont's magnetischem Theodoliten, wie er zu Declinationsbestimmungen dient. *AA* ist eine massive messingene Platte, welche, mit drei Stellschrauben zum Horizontalrichten versehen, auf ein passendes, in unserer Figur nicht dargestelltes Stativ gestellt wird. Mit dieser Platte unveränderlich verbunden ist die am Rande mit einem getheilten Silberringe versehene Scheibe *BB*. In Fig. 36 ist ein geometrischer Aufriß des Apparates in $^1/_2$ der natürlichen Größe und zwar zum Theil im Durchschnitt dargestellt. Durch die Höhlung der Platte *AA* hindurch geht eine verticale Axe, welche die Scheibe *C* trägt. Die Scheibe *C* kann in ihrer Ebene um diese verticale Axe gedreht werden, und diese Drehung mit Hülfe zweier Nonien (wovon der eine in Fig. 35 sichtbar ist), die an *C* befestigt sind und an seiner Drehung Theil nehmen, auf dem getheilten Kreise abgelesen werden.

Die Scheibe *C* trägt eine horizontale Verlängerung, welche als Fernrohrträger dient. Eine horizontale Axe, um welche sich das Fernrohr drehen kann, wird durch eine messingene Feder (überhaupt kommt außer dem Magnetstäbchen am ganzen Apparate kein Eisen vor) von unten gegen den in Fig. 36 sichtba-

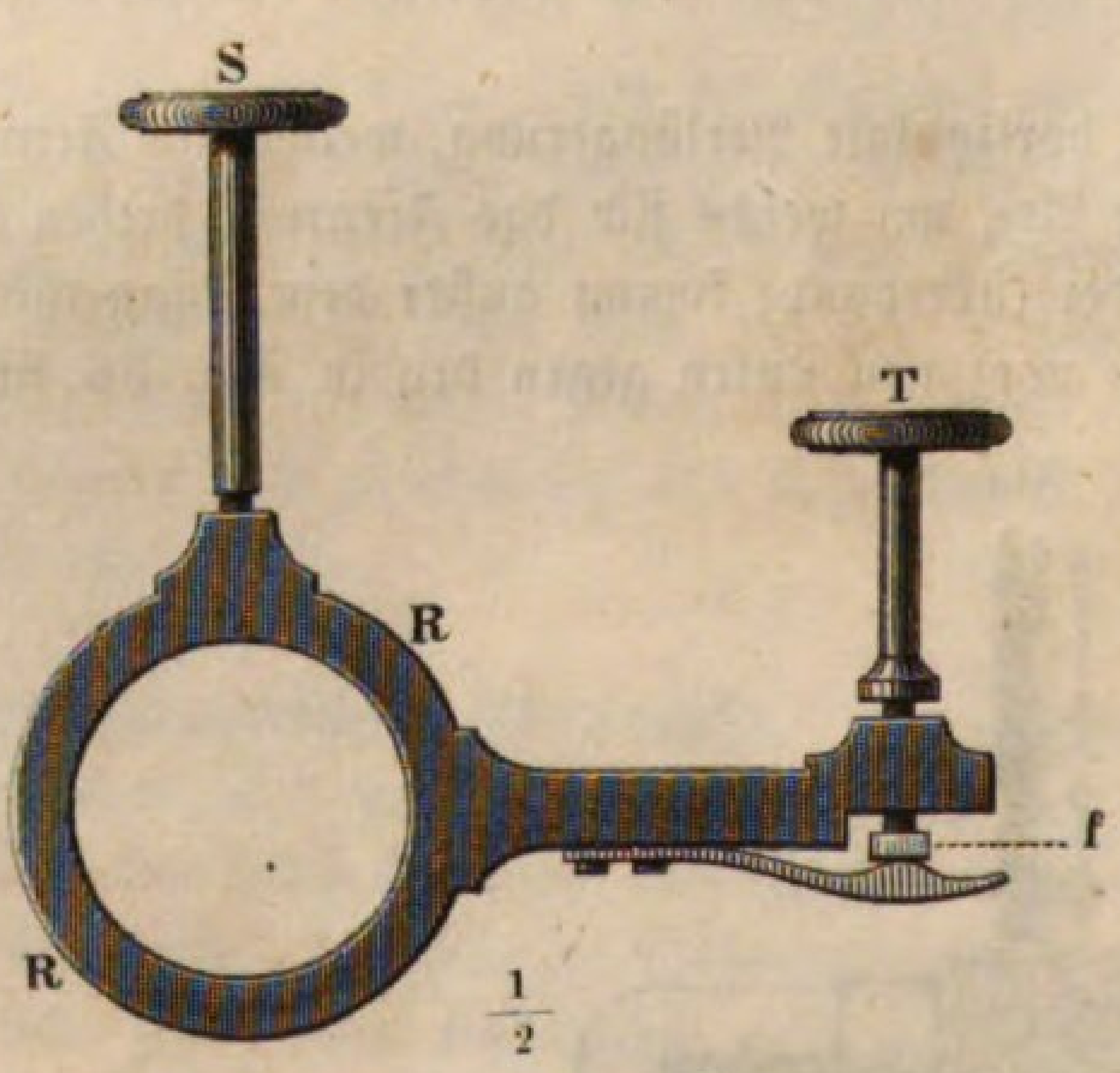
Fig. 36.



ren Haken angedrückt. Vor diesem Haken befindet sich noch eine Messingplatte, welche in Fig. 36 der Deutlichkeit wegen fortgeblieben ist, welche man aber in der perspectivischen Ansicht erkennt und welche dazu dient, eine seitliche Bewegung der Fernrohraxe zu verhindern. Ferner geht von dieser das Fernrohr tragenden Verlängerung noch ein Stäbchen *f* herab, welches zwischen eine Verlängerung des Ringes *R* und eine an denselben angeschraubte Messingfeder hineinpaßt.

Dieser Ring *R*, welcher, um den Träger des getheilten Kreises herumgelegt, um denselben sich frei drehen läßt, ist in Fig. 37 im Grundriß dargestellt. Durch Anziehen der Klemmschraube *S* wird der Ring *R* festgestellt und dadurch auch eine weitere Umdrehung der Scheibe *C* mit Allem, was darauf befestigt ist, verhindert; eine feinere Einstellung geschieht dann mittelst der Stellschraube *T*.

Fig. 37.

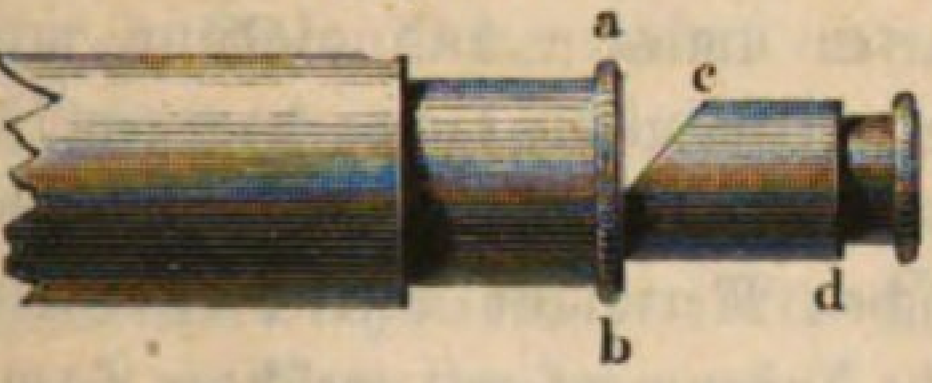


Auf die Scheibe *C* wird nun, nachdem man dieselbe mit Hülfe einer Wasserwage und der drei Stellschrauben der Platte *A* horizontal gestellt hat, das Magnetgehäuse aufgeschraubt. Der Raum, in welchem das Magnetstäbchen selbst spielen kann, wird durch zwei an den Enden zugeschmolzene Glasröhrchen gebildet. Es wird von einem durch die Messingröhre *F*, Fig. 35, herabhängenden Seidenfaden getragen. Der Spiegel befindet sich unterhalb des Magneten. Ihm gegenüber ist das Gehäuse, welches auch seitliche, mit Glasplatten geschlossene Oeffnungen hat, mit einer Platte von geschliffenem Spiegelglas geschlossen.

Wenn man die Scheibe *C* sammt dem Magnetgehäuse um ihre verticale Axe so dreht, daß die horizontale Axe der beiden Glasröhren *a b* ungefähr in den magnetischen Meridian zu stehen kommt, so kann nun der Magnet frei spielen und sich in den magnetischen Meridian einstellen. Nehmen wir an, daß die Ebene des Spiegels genau rechtwinklig stände auf der magnetischen Axe des Magnetstabes, so würde eine auf der Ebene des Spiegels normale Linie die Richtung des magnetischen Meridians angeben. Die Normale der Spiegelebene wird bei der richtigen Stellung des Apparates durch die Axe des Fernrohres bezeichnet, dessen eigenthümliche Einrichtung aus dem Durchschnitt Fig. 38 deutlicher zu ersehen ist.

Das Objectiv des Fernrohres ist dem Spiegel zugewendet. Da wo das vom Objectiv entworfene Bild entsteht, bei *ab*, Fig. 38, ist das Rohr durch eine Glasplatte verschlossen, auf welcher eine senkrechte und eine wagerechte feine Linie eingeritzt sind, welche die Stelle des Fadenkreuzes vertreten. Das Ocular steckt in der Hülse *cd*, welche von oben her zur Hälfte eingeschnitten ist, so daß man in diesen Einschnitt ein Spiegelchen legen kann. Dieser kleine Spiegel dient zur Erleuchtung des Fadenkreuzes. Ist der Apparat nahezu in die richtige Lage gebracht, so erblickt man, durch das Ocular schauend, den verticalen Strich einmal direct und dann noch sein Bild im Spiegel des Magneten. Mit Hülfe der Stellschraube *T*, Fig. 37, kann man es aber nun leicht dahin bringen, daß die beiden Bilder des verticalen Striches zusammenfallen, und wenn dies der Fall ist, so steht in der That die Axe des Fernrohres normal auf der Spiegelebene, sie steht also im magnetischen Meridian, wenn die Spiegelebene rechtwinklig steht auf der magnetischen Axe des Magnetstabes.

Fig. 38.



Ist auf diese Weise die Axe des Fernrohres in die Ebene des magnetischen Meridians eingestellt, so wird der Nonius abgelesen, dann das Magnetgehäuse vom Theodolit abgehoben und die Scheibe *C* sammt dem Fernrohre um die verticale Axe gedreht, bis die Visirlinie des Fernrohres in dem astronomischen Meridian steht, bis es also auf ein für den Beobachtungsort bestimmtes Meridianzeichen gerichtet ist, und nun abermals der Nonius abgelesen. Der Unterschied dieser beiden Ablesungen ergiebt dann die gesuchte Declination.

Wenn, wie es wohl meistens der Fall ist, für den Ort, wo das magnetische Theodolit aufgestellt wurde, gerade kein Meridianzeichen vorhanden ist, so richtet man das Fernrohr auf irgend einen entfernten Punkt, dessen Azimut für den Beobachtungsort entweder schon bekannt ist, oder aus genauen Karten ermittelt werden kann, und bestimmt also den Winkel, welchen der magnetische Meridian mit der nach dem fraglichen Orte gerichteten Visirlinie macht.

So fand z. B. Lamont, als er am 7. October 1852 auf dem Schloßberge bei Freiburg sein Theodolit aufgestellt hatte und die Visirlinie des Fernrohres rechtwinklig auf der Ebene des Magnetspiegels stand, daß der Nonius auf 308° 22,6′ zeigte. Nach Abnahme des Magnetgehäuses wurde das Fernrohr auf die Spitze des Kirchthurms von Langendenzlingen (ungefähr zwei Stunden nördlich von Freiburg) gerichtet, und nun zeigte der Nonius auf 278° 14,3′; der Unterschied der beiden Ablesungen beträgt also 30° 8,3′.

Den Generalstabskarten zufolge liegt die Visirlinie von dem Beobachtungspunkte auf dem Schloßberge nach dem Kirchthurme von Denzlingen noch 12° 43′ östlich vom astronomischen Meridian; diese 12° 43′ sind nun noch von 30° 8,3′ abzuziehen, und so bleibt also für die Declination der Werth 17° 25,3′.

Dies wäre der wahre Werth der Declination, wenn die Ebene des Spiegels absolut rechtwinklig auf der magnetischen Axe des Magneten stände, was mit voller Genauigkeit nie erreichbar ist. Der magnetische Reisetheodolit ist nicht so eingerichtet, daß man den Magneten umlegen und alsdann mittelst einer zweiten Messung den Collimationsfehler eliminiren kann; dagegen ist die Größe dieses Fehlers durch genaue Messung in einem magnetischen Observatorium, für welches die Lage des magnetischen Meridians bereits ermittelt ist, ein- für allemal bestimmt. Für das fragliche Instrument, mit welchem Lamont die obigen Messungen ausführte, beträgt er + 14,5′, und diese sind noch zu 17° 25,3′ zu addiren, um den wahren Werth der Declination für Freiburg zu finden, welcher demnach 17° 39,8′ ist.

13 **Variationen der Declination und Inclination.** Es ist bereits im vorigen Paragraphen bemerkt worden, daß die Lage des magnetischen Meridians fortwährenden Schwankungen unterworfen ist. Diese Schwankungen sind bald zufällig und plötzlich, bald regelmäßig und periodisch. — Die ersteren nennt man Störungen, die letzteren Variationen. Im Allgemeinen beobachtet man in unseren Gegenden folgenden Gang der täglichen Variationen. Während der Nacht ist die Nadel fast stationär, mit Sonnenaufgang aber fängt das Nordende der Nadel an, sich nach Westen zu bewegen. Gegen 5 Uhr Nachmittags erreicht die westliche Ablenkung ihr Maximum, die Nadel geht dann bis 9, 10 oder 11 Uhr Abends nach Osten zurück.

Die Amplitude der täglichen Variationen, d. h. der Winkel zwischen dem östlichsten und westlichsten Stande der Nadel, ist veränderlich; sie ist in den Sommermonaten am größten. Ihr Mittelwerth beträgt vom April bis zum September 13 bis 15 Minuten, vom October bis zum März nur 8 bis 10 Minuten. An manchen Tagen beträgt die Amplitude 25′, an anderen dagegen nur 5′ bis 6′.

Die Mittelwerthe für die Amplitude in verschiedenen Monaten sind nach Beobachtungen in Göttingen folgende:

Januar . .	6,7′	Juli . .	12,1′
Februar . .	7,4	August . .	13,0
März . .	11,9	September .	11,8
April . .	13,9	October . .	10,3
Mai . . .	13,5	November .	6,9
Juni . .	12,5	December .	5,0.

In nördlichen Gegenden sind im Allgemeinen die täglichen Variationen bedeutender und weniger regelmäßig. Auch während der Nacht ist die Nadel nicht stationär; je mehr man sich dagegen dem magnetischen Aequator nähert, desto mehr nimmt die Größe der täglichen Variationen ab, und auf dem magnetischen Aequator selbst ist sie ganz unmerklich.

Südlich vom magnetischen Aequator finden die täglichen Variationen in entgegengesetzter Richtung Statt, d. h. hier bewegt sich das Südende der Na-

del nach Westen, während nördlich vom magnetischen Aequator das Nordende sich nach dieser Richtung bewegt; und wenn auf der nördlichen Hemisphäre das Nordende der Nadel sich nach Osten bewegt, so hat auf der südlichen Halbkugel das Südende der Nadel eine östliche Bewegung.

Die Beobachtung der täglichen Variationen erfordert sehr genaue Instrumente. Alle früher angewandten werden in dieser Hinsicht von dem schon oben beschriebenen Magnetometer übertroffen, welches die geringsten Veränderungen in der Lage der Magnetnadel angiebt. Mit dem Gauß'schen Magnetometer werden bereits an vielen Orten, sowohl in Europa, als auch in anderen Welttheilen, an vorausbestimmten Terminen gleichzeitig Beobachtungen angestellt; von diesen Beobachtungen dürfen wir bedeutende Fortschritte unserer Kenntnisse der wunderbaren Störungen des Erdmagnetismus erwarten, namentlich, da sie jetzt auch auf weiter von einander entlegenere Orte ausgedehnt worden sind.

Auch die Inclination ist solchen täglichen Variationen unterworfen, wie dies zuerst Graham im Jahre 1772 beobachtet hat, jedoch ist die Amplitude dieser Variationen geringer als bei der Declination, und sie lassen sich überhaupt bei weitem nicht mit der Genauigkeit beobachten, wie die Variationen der Declination.

Abgesehen von diesen täglichen Variationen, ist aber auch der Mittelwerth der Declination allmäligen sehr bedeutenden Veränderungen unterworfen, wie man leicht aus den folgenden Tabellen ersieht, welche die Größe der Declination und Inclination angeben, wie sie zu verschiedenen Zeiten in Paris beobachtet wurde.

Declination für Paris.

Jahr.	Declination.	Jahr.	Declination.
1580	11° 30' östl.	1814	22° 34' westl.
1618	8 »	1816	22 25 »
1663	0 »	1825	22 22 »
1700	8 10 westl.	1828	22 5 »
1780	19 55 »	1835	22 4 »
1805	22 5 »	1852	20 25 »

Man sieht aus dieser Tabelle

1) daß von 1580 an die Declination sich um mehr als 30° geändert hat;
2) daß sie im Jahre 1663 Null war;
3) daß sie bis 1814 immer nach Westen vorschritt;
4) daß sie von 1814 an eine rückgängige Bewegung nach Osten hin erlitten hat.

In Göttingen betrug die Declination im Jahre 1835 im Mittel 18° 39,33, — im Jahre 1841 betrug sie 18° 9,62′.

Solche an längere Perioden gebundene Veränderungen der Declination nennt man zum Unterschiede von den täglichen, seculare Variationen.

Die Inclination ist ebenso wie die Declination täglichen und secularen Variationen unterworfen. Wie sich die Inclination im Laufe der Jahrhunderte ändert, ersieht man aus folgender Tabelle.

Inclination für Paris.

Jahr.	Inclination.	Jahr.	Inclination.
1671	75°	1820	68° 20′
1780	72 47′	1825	68 0
1806	69 12	1835	67 24
1814	68 36	1852	66 42

Wenn auch die früheren Bestimmungen nicht sehr genau sind, so ist doch eine fortwährende Abnahme der Inclination bewiesen.

14 **Störungen der Magnetnadel.** Es giebt verschiedene Einflüsse, welche plötzlich die Richtung der Magnetnadel ändern und die Regelmäßigkeit der täglichen Variationen stören. Unter allen diesen Einflüssen wirkt das Nordlicht am stärksten. Wenn dieses Meteor am Himmel erscheint, ist die Magnetnadel in beständiger Bewegung und erleidet eine bedeutende Ablenkung. Die Nadel ist aber nicht allein an den Orten bewegt, wo gerade das Nordlicht sichtbar ist, sondern auch noch an weit entfernten Orten, wo man keine Spur des Nordlichts am Himmel sieht. Im Allgemeinen jedoch sind die Schwankungen um so stärker, je näher man dem Phänomen ist und je intensiver es erscheint. Wenn man dann in den Observatorien die Declinationsnadel beobachtet, sieht man sie auf einmal unruhig werden und Schwankungen machen, deren Amplitude mehr als einen Grad beträgt, ohne daß man eine Ursache finden kann; man erfährt dann gewöhnlich bald, daß an anderen Orten die Bussolen ähnlichen Bewegungen unterworfen waren, und daß man in nördlichen Gegenden ein brillantes Nordlicht beobachtete. So ist ein Beobachter in seinem Cabinet durch seine Bussole von dem unterrichtet, was in den Polargegenden vorgeht. —

Erdbeben und vulkanische Eruptionen scheinen auch auf die Nadel einzuwirken, und manchmal haben sie eine permanente Veränderung ihrer Lage zur Folge. So sah D. Bernouilli im Jahre 1767, daß während eines Erdbebens die Inclination um ½ Grad abnahm, und bei einem Ausbruch des Vesuvs bemerkte Pater de la Torre, daß sich die Declination um mehrere Grade änderte.

Intensität des Erdmagnetismus. Einer der wichtigsten Punkte für 15
die Theorie des Ergmagnetismus ist die Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus an verschiedenen Orten der Erde und zu verschiedenen Zeiten. Erst in den neuesten Zeiten sind darüber genaue Untersuchungen angestellt worden. Graham scheint sich zuerst im Jahre 1722 mit dieser Frage beschäftigt zu haben. Borda gab zuerst eine genaue Methode an, um die Intensitäten des Erdmagnetismus verschiedener Orte mit einander zu vergleichen, und Humboldt wandte diese Methode auf seiner Reise nach Amerika, sowie auf einer anderen Reise durch Frankreich, Italien und Deutschland an. Gauß endlich gab eine Methode an, die Intensität der magnetischen Erdkraft auf ein absolutes Maß zurückzuführen. Seine Arbeiten über diesen Gegenstand gehören unstreitig zu den geistreichsten und ausgezeichnetsten Productionen, deren sich die Wissenschaft je zu erfreuen hatte.

Borda's Methode besteht darin, die Oscillationsdauer einer und derselben Nadel an verschiedenen Orten zu beobachten, und aus der Veränderung der Schwingungsdauer auf die Aenderung der Intensität des Erdmagnetismus zu schließen. Eine Magnetnadel, eine Declinationsnadel sowohl wie eine Inclinationsnadel, aus ihrer Gleichgewichtslage etwas entfernt und dann sich selbst überlassen, oscillirt wie ein Pendel, und in der That sind auch diese Oscillationen ganz den Gesetzen unterworfen, welche wir oben für das gewöhnliche Pendel kennen gelernt haben; nur ist hier der Magnetismus, dort die Schwere die Ursache der Schwingungen. Wir haben dort gesehen, daß sich die Schwingungszeiten umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den beschleunigenden Kräften verhalten, daß also die beschleunigenden Kräfte den Quadraten der Schwingungszahlen direct proportional sind. Wenn also eine und dieselbe Nadel etwa an einem Orte doppelt so schnell oscillirte als am anderen, so wäre also hier die magnetische Kraft 4mal so groß als dort.

Es sei M die magnetische Kraft, welche an einem Orte die Schwingungen der Nadel erzeugt, und N die Anzahl der Oscillationen, welche sie in einer gegebenen Zeit, etwa in 5 Minuten, macht; ferner sey m die beschleunigende Kraft, welche an einem zweiten Orte auf dieselbe Nadel wirkt, und n die Zahl der Oscillationen, welche sie in derselben Zeit, also auch in 5 Minuten, macht, so hat man

$$\frac{M}{m} = \frac{N^2}{n^2}.$$

Hätte man z. B. am ersten Orte $N = 25$, am zweiten $n = 24$ gefunden, so hätte man

$$\frac{M}{m} = \frac{625}{576} = 1{,}085,$$

das heißt, wenn man die magnetische Kraft, welche am zweiten Orte auf die Nadel wirkt, zur Einheit nimmt, so ist diese Kraft am ersten Orte 1,085.

Wenn man nun annehmen kann, daß sich der magnetische Zustand der Nadel von einem Versuch zum anderen nicht geändert habe, so findet man auf

diese Weise das Verhältniß der erdmagnetischen Kraft für zwei verschiedene Orte der Erde.

Um die Intensität der ganzen magnetischen Erdkraft für verschiedene Orte direct mit einander zu vergleichen, müßte man zu diesen Oscillationsversuchen natürlich Inclinationsnadeln anwenden. Weil aber Versuche mit diesen immer weniger genaue Resultate geben, so zieht man vor, Oscillationsversuche mit der Declinationsnadel zu machen, die Inclination zu messen und aus diesen Daten die totale Intensität zu berechnen.

Fig. 39.



Die Kraft, welche die Declinationsnadel oscilliren macht, ist nur ein Theil der ganzen magnetischen Erdkraft, und zwar ist dieser Antheil um so kleiner, je größer die Inclination ist.

Wenn mit M die in der Richtung der Inclinationsnadel wirkende ganze magnetische Erdkraft ab, Fig. 39, und mit i die Inclination bezeichnet wird, so ist $M . \cos i$ die horizontale Composante ac derselben, also die Kraft, welche die Declinationsnadel oscilliren macht. Bezeichnet aber m die horizontale Composante der magnetischen Erdkraft, so ist die totale $\frac{m}{\cos. i}$.

Wenn man die Resultate der Intensitätsbestimmungen zusammenstellt, welche an verschiedenen Orten der Erdoberfläche gemacht worden sind, so ergiebt sich das allgemeine Resultat, daß die totale Intensität in der Nähe des magnetischen Aequators am kleinsten ist und daß sie um so mehr wächst, je mehr man sich von demselben nach Norden oder Süden entfernt. In der Nähe der magnetischen Pole ist sie ungefähr 1,5mal so groß als am Aequator. An einem und demselben Orte ist aber die Intensität auch veränderlich und wie die Declination und Inclination täglichen Variationen unterworfen.

Die Schwingungsmethode giebt nur die Verhältnißzahlen der erdmagnetischen Kraft, ohne sie auf ein absolutes Maaß zurückzuführen. Außerdem hat diese Methode noch den Nachtheil, daß man nicht immer sicher sein kann, ob der magnetische Zustand der Nadel selbst sich nicht geändert habe, und man also Gefahr läuft, Veränderungen in diesem Zustande den Veränderungen der erdmagnetischen Kraft zuzurechnen. Von allen diesen Mängeln ist die Gauß'sche Methode der Intensitätsbestimmung frei; wir wollen in einem der nächsten Paragraphen versuchen, die Grundsätze derselben auseinander zu setzen, so weit es auf elementare Weise möglich ist.

16 **Einfluß des Erdmagnetismus auf das Eisen.** Wenn man eine Stange von weichem Eisen in die Richtung der Inclinationsnadel hält, so wird sie durch den Einfluß des Erdmagnetismus selbst magnetisch, und zwar

wird ihr oberes Ende ein Südpol, ihr unteres ein Nordpol, wie man leicht sehen kann, wenn man eine kleine empfindliche Magnetnadel bald dem oberen, bald dem unteren Ende der Stange nähert. Derselbe Pol der Nadel wird von dem einen Ende des Stabes angezogen, von dem anderen abgestoßen; man erkennt auf diese Weise zugleich den polarisch magnetischen Zustand des Stabes. Kehrt man den Stab um, so sind sogleich auch seine Pole umgekehrt, das obere Ende ist wieder ein Südpol, das untere ein Nordpol.

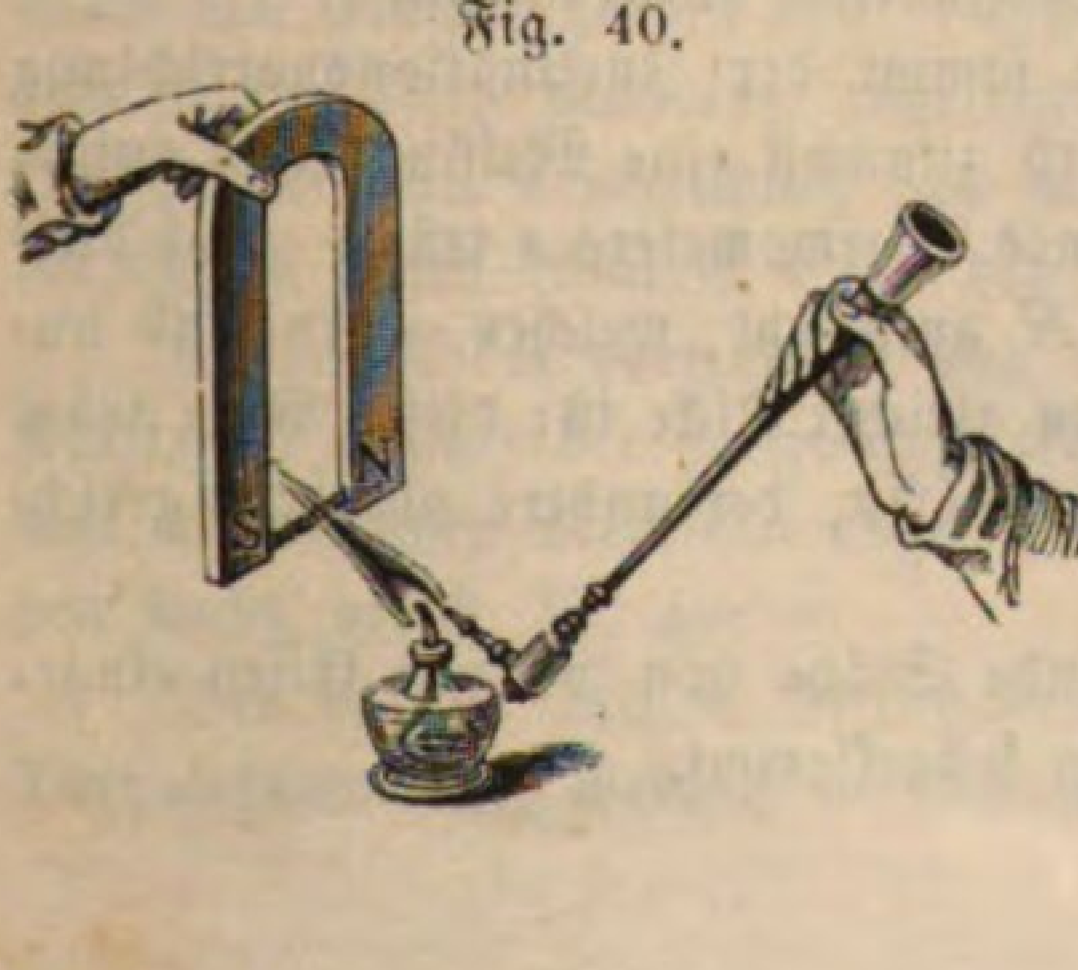
Dieselbe Wirkung, nur etwas schwächer, bringt auch der Erdmagnetismus auf eine vertical hängende Eisenstange hervor, überhaupt auf jede Eisenstange, welchen Winkel sie auch mit der Richtung der Inclinationsnadel macht, nur ist die Wirkung um so geringer, je mehr sie sich von der Richtung der Inclinationsnadel entfernt.

In gleicher Weise wie auf einen Eisenstab wirkt der Erdmagnetismus inducirend überhaupt auf jede Eisenmasse.

Wenn eine Stange von Eisen durch den vertheilenden Einfluß des Erdmagnetismus selbst zum Magnet gemacht ist, so reichen einige Schläge mit dem Hammer hin, um den Magnetismus zu fixiren und die Stange zu einem bleibenden Magnet zu machen; durch das Schlagen wird also dem Eisen eine Coërcitivkraft ertheilt, welche hindert, daß die durch den Einfluß der Erde gerichteten Molekularmagnetchen wieder in ihre neutrale Lage zurückkehren. Dadurch erklärt sich auch, daß fast alle Werkzeuge in der Werkstatt eines Schlossers Magnete sind.

Es scheint, daß auch chemische Veränderungen ähnlich wirken wie mechanische Erschütterungen, um den durch die Erde vertheilten Magnetismus des Eisens zu fixiren, denn man findet, daß Eisenstangen, welche längere Zeit vertical standen und in dieser Stellung rosteten, einen bleibenden Magnetismus erhalten haben. Ein gewisser Julius Cäsar, Chirurg zu Rimini, beobachtete zuerst im Jahre 1590 an einer Eisenstange des Thurmes der Kirche des heil. Augustin, daß sie durch den Einfluß der Erde magnetisch geworden war. Später, um das Jahr 1630, machte Gassendi dieselbe Beobachtung an dem Kreuze des Thurmes der St. Johanniskirche zu Aix, welches vom Blitze heruntergeschlagen worden war. Es war stark verrostet und hatte alle Eigenschaften eines Magneten. Seitdem haben sich solche Beobachtungen sehr vermehrt, und man hat allgemein gefunden, daß ein etwas gerostetes Eisen stets ein mehr oder weniger starker Magnet ist.

Fig. 40.



Wenn man einen Hufeisenmagnet in Eisenfeile taucht, so hängt sich zwischen den Polen ein Bündel derselben an; wenn man sie nun mit Wasser befeuchtet und dann zum Glühen erhitzt, während sie noch immer dem vertheilenden Einflusse des Magneten ausgesetzt sind, so geht eine theilweise Oxydation des Eisens vor sich, man erhält eine ziemlich

compacte Masse, deren Zusammensetzung der der natürlichen Magnete ähnlich und welche ebenfalls bleibend magnetisch ist.

17 **Bestimmung der Inclination.** Die Inclination läßt sich nicht so leicht direct mit Genauigkeit bestimmen als die Declination, weil es ungemein schwierig ist, zuverlässige Inclinatorien zu construiren, weshalb denn auch diese Instrumente sehr kostspielig und für öfteren Transport wenig geeignet sind. Man hat deshalb auf mannigfache Weise versucht, die Inclination auf indirectem Wege zu bestimmen. Brugmann sprach zuerst die Idee aus, den durch den Erdmagnetismus im weichen Eisen inducirten Magnetismus zur Inclinationsbestimmung anzuwenden.

Nach Lloyd's Versuchen ist die magnetisch inducirende Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus auf einen Eisenstab wirkt, oder, mit anderen Worten, das magnetische Moment, welches durch den Erdmagnetismus in einem Eisenstab hervorgerufen wird, dem Cosinus des Winkels proportional, welchen der Stab mit der Richtung der Inclinationsnadel macht.

Darauf hat nun Lloyd ein sehr sinnreiches Verfahren zur Bestimmung der Inclination mittelst einer horizontalen Magnetnadel gegründet. Oestlich oder westlich von einer an einem Coconfaden hängenden 3 Zoll langen horizontalen Magnetnadel ist ein runder Eisenstab von 12 Zoll Länge und $^3/_4$ Zoll Durchmesser angebracht. Die Verticalebene des Stabes ist mit der Ebene des magnetischen Meridians der Nadel parallel, und zwar läßt er sich um eine senkrecht zu seiner Länge und rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian stehende Axe drehen, welche die Länge der freien Nadel halbirt. Das eine Ende des Magnetstabes stößt gerade an diese Umdrehungsaxe an, so daß es beständig in der Horizontalebene der Nadel bleibt. Dieser Stab wird nun einmal vertical gestellt und dann durch eine Drehung um 90° in eine horizontale Lage gebracht. In beiden Lagen lenkt er die Nadel aus ihrer Gleichgewichtslage ab, und wenn man diese Ablenkungen genau beobachtet hat, so kann man daraus die Stärke der magnetischen Induction bei horizontaler und bei verticaler Stellung des Stabes und aus dem Verhältniß beider die Größe der Inclination ableiten.

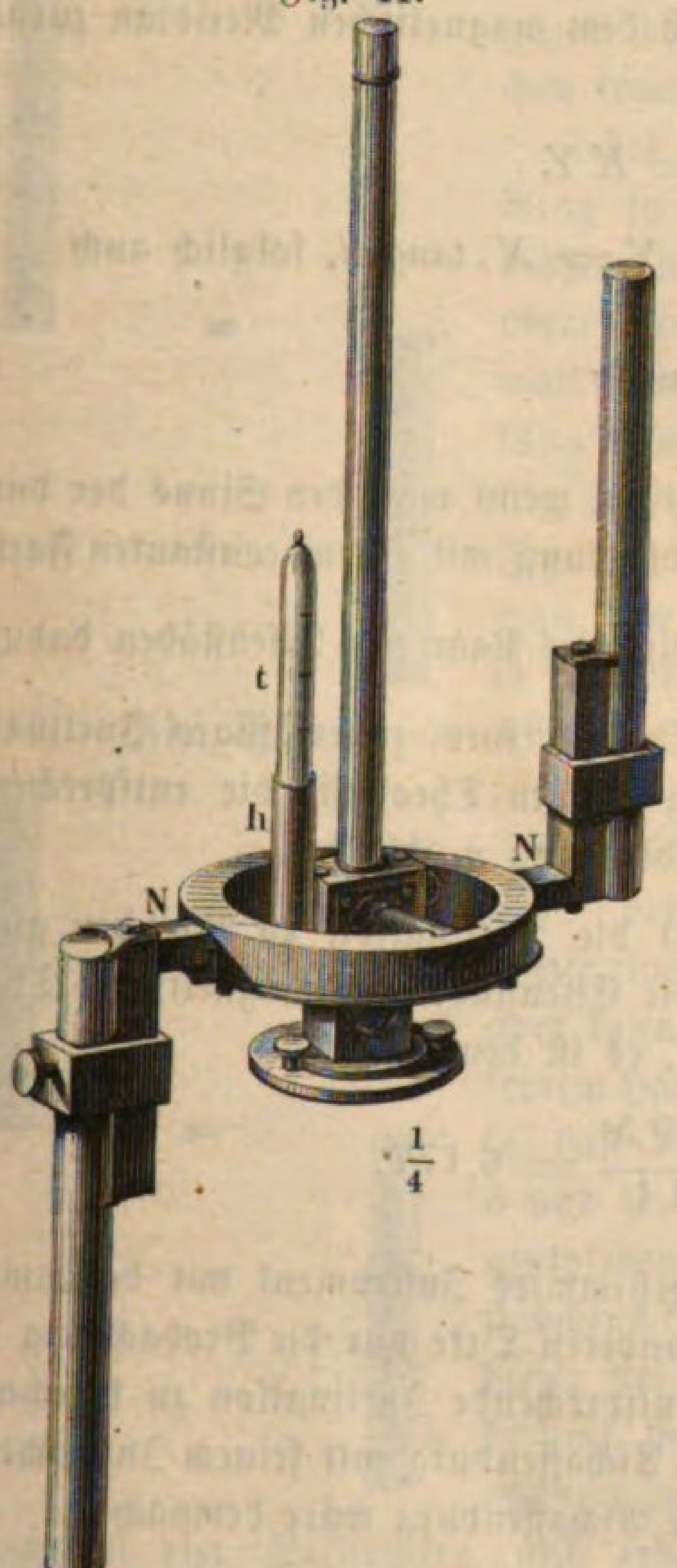
In anderer Weise hat Lamont die magnetische Induction im weichen Eisen benutzt, um an seinem magnetischen Reisetheodolit eine Vorrichtung zur indirecten Bestimmung der magnetischen Inclination anzubringen.

In Fig. 41 ist das Magnetgehäuse sammt der Inclinationsvorrichtung dargestellt. Auf das Magnetgehäuse wird zunächst eine Messingplatte aufgesetzt, welche eine Hülse *h* zum Einstecken eines Thermometers *t* trägt. Auf diese Scheibe wird der massive Messingring *NN* aufgesetzt, welcher, oben und unten eben abgeschliffen, überall möglichst von gleicher Dicke ist; dieser Ring trägt seitlich zwei Arme, von denen der eine aufwärts, der andere abwärts gerichtet ist.

In diese zwei Arme werden zwei runde Stäbe von weichem Eisen eingesteckt und mittelst entsprechender Schrauben festgeklemmt.

Bevor man den Ring mit den Eisenstäben aufsetzt, wird das Instrument gerade so eingestellt, wie zu einer Declinationsbestimmung, d. h. so daß, wenn man in das Fernrohr schaut, das durch den Magnetspiegel reflectirte Bild des verticalen Fadens mit dem direct gesehenen zusammenfällt. Nun wird der Ring mit den Eisenstäben auf das Magnetgehäuse gesetzt, und zwar so, daß die Verticalebene der beiden Stäbe, durch die Mitte des Magnetstäbchens gehend, auf dem magnetischen Meridian rechtwinklig steht.

Fig. 41.



In der Höhe des Magnetstäbchens befindet sich nun auf der einen Seite ein Nordpol (das untere Ende des nach oben gekehrten Eisenstabs), auf der anderen ein Südpol (das obere Ende des nach unten gekehrten Eisenstabs), und diese beiden magnetischen Pole bewirken in gleichem Sinne eine Ablenkung des Magnetstäbchens aus dem magnetischen Meridian. Die Größe dieser Ablenkung erfährt man, wenn man die Platte *C*, Fig. 36, sammt Allem, was darauf und daran befestigt ist, um ihre verticale Axe dreht, um dem abgelenkten Magnetstäbchen zu folgen, bis die Axe des Fernrohrs wieder rechtwinklig steht auf der Ebene des Magnetspiegels, bis also die beiden Bilder des verticalen Fadens wieder zusammenfallen, wenn man in das Ocular des Fernrohrs hineinschaut.

Liest man jetzt den Nonius abermals ab, so giebt die Differenz dieser und der ersten Ablesung die Größe des Winkels, um welchen das Magnetstäbchen durch den Einfluß des in den beiden Eisenstäben inducirten Magnetismus aus dem magnetischen Meridian abgelenkt worden ist. Wir wollen diesen Ablenkungswinkel mit v bezeichnen und zunächst sehen, in welchem Zusammenhange der Werth dieses Winkels v mit der Inclination i steht.

Es sei X der horizontale und Y der verticale Erdmagnetismus, so ist die Kraft, mit welcher der horizontale Erdmagnetismus das um den Winkel v aus dem magnetischen Meridian abgelenkte Magnetstäbchen in denselben zurückzuziehen strebt, gleich $X \,.\, sin.\ v$.

Der in den beiden Eisenstäben inducirte Magnetismus, also auch das Drehungsmoment, welches sie auf das Magnetstäbchen ausüben, ist aber dem

verticalen Erdmagnetismus proportional, dieses Drehungsmoment ist also KY, wenn durch K ein constanter Factor bezeichnet wird. Dieses Drehungsmoment hält aber der Kraft das Gleichgewicht, mit welcher der horizontale Erdmagnetismus das abgelenkte Magnetstäbchen nach dem magnetischen Meridian zurückzieht, wir haben also

$$X \,.\, \sin. v = KY.$$

Setzt man die Inclination gleich i, so ist $Y = X \,.\, \tang.\, i$, folglich auch

$$\tang.\, i = \frac{1}{K} \sin. v.$$

Man erhält also die Tangente der Inclination, wenn man den Sinus der durch die verticalen eisernen Stäbe bewirkten Ablenkung mit einem constanten Factor $\frac{1}{K}$ multiplicirt, dessen Werth für ein bestimmtes Paar von Eisenstäben dadurch ermittelt wird, daß man für denselben Ort an einem zuverlässigen Inclinatorium die Inclination i und an dem magnetischen Theodolit die entsprechende durch die verticalen Eisenstäbe bewirkte Ablenkung v abliest.

So fand Lamont im Jahre 1850 die Inclination zu München gleich $64^{0}\,59{,}5'$ und die entsprechende durch die Eisenstäbe am magnetischen Theodolit bewirkte Ablenkung gleich $20^{0}\,18{,}4'$, es ist demnach

$$\frac{1}{K} = \frac{\tang.\, 64^{0}\,59{,}5'}{\sin.\, 20^{0}\,18{,}4'} = 6{,}177.$$

Ist einmal dieser Factor für ein bestimmtes Instrument mit bestimmten Eisenstäben ermittelt, so reicht an einem anderen Orte nur die Beobachtung der Ablenkung v hin, um aus derselben die entsprechende Inclination zu berechnen. Im Jahre 1850 fand z. B. Lamont zu Aschaffenburg mit seinem Instrumente die fragliche Ablenkung gleich $22^{0}\,1'$; für Aschaffenburg wäre demnach

$$\tang.\, i = 6{,}177 \,.\, \sin.\, (22^{0}\,1')$$

und darnach

$$i = 66^{0}\,38{,}5'.$$

Es ist bisher nur von einer einmaligen Beobachtung der durch den inducirten Magnetismus der Eisenstäbe hervorgebrachten Ablenkung die Rede gewesen; da aber die Eisenstäbe nie absolut frei von permanentem Magnetismus sind, so ist es nothwendig, die Beobachtung in der Weise zu vervielfältigen, daß dadurch die vom permanenten Magnetismus herrührenden, sowie sonstige Fehler möglichst eliminirt werden; es geschieht das dadurch, daß man in der Stellung der Eisenstäbe gegen das Magnetstäbchen so viel Variationen macht als möglich.

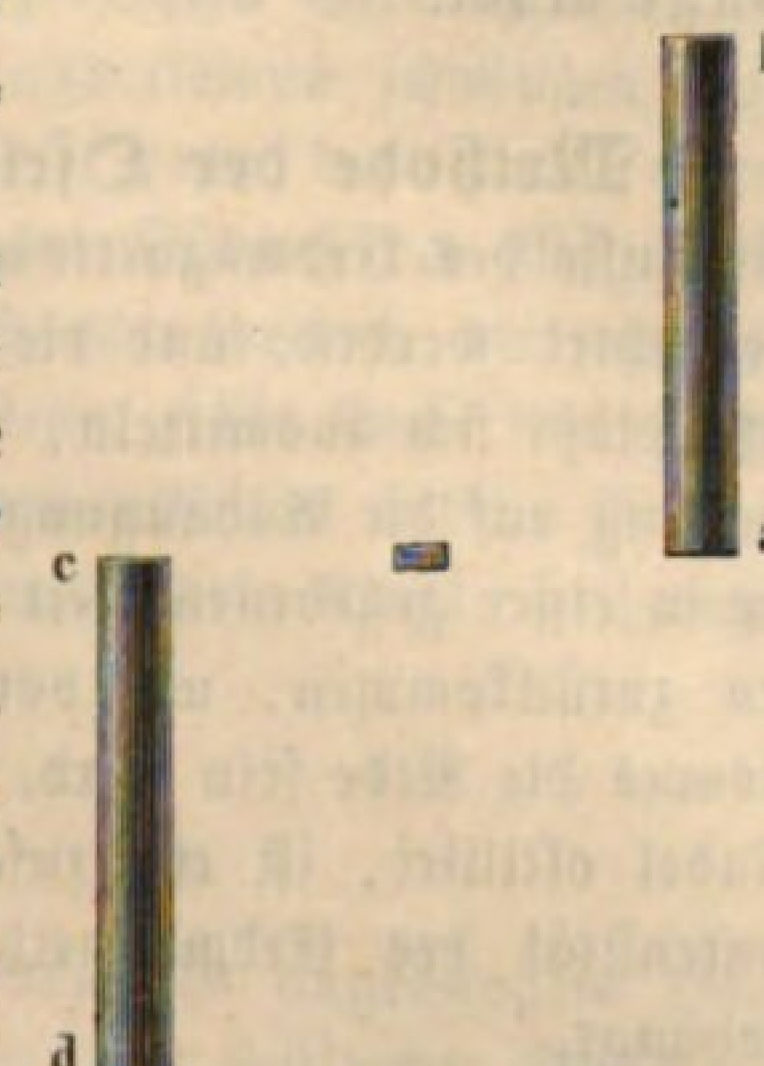
Es stelle Fig. 42 die erste Stellung dar, für welche man die Ablenkung beobachtet hat, so erhält man eine entsprechende Ablenkung nach der entgegen-

gesetzten Seite, wenn man den Ring in seiner Ebene um 180⁰ dreht, so daß nun die Eisenstäbe in die Position Fig. 43 gegen die Magnetstäbchen kommen.

Fig. 42.



Fig. 43.

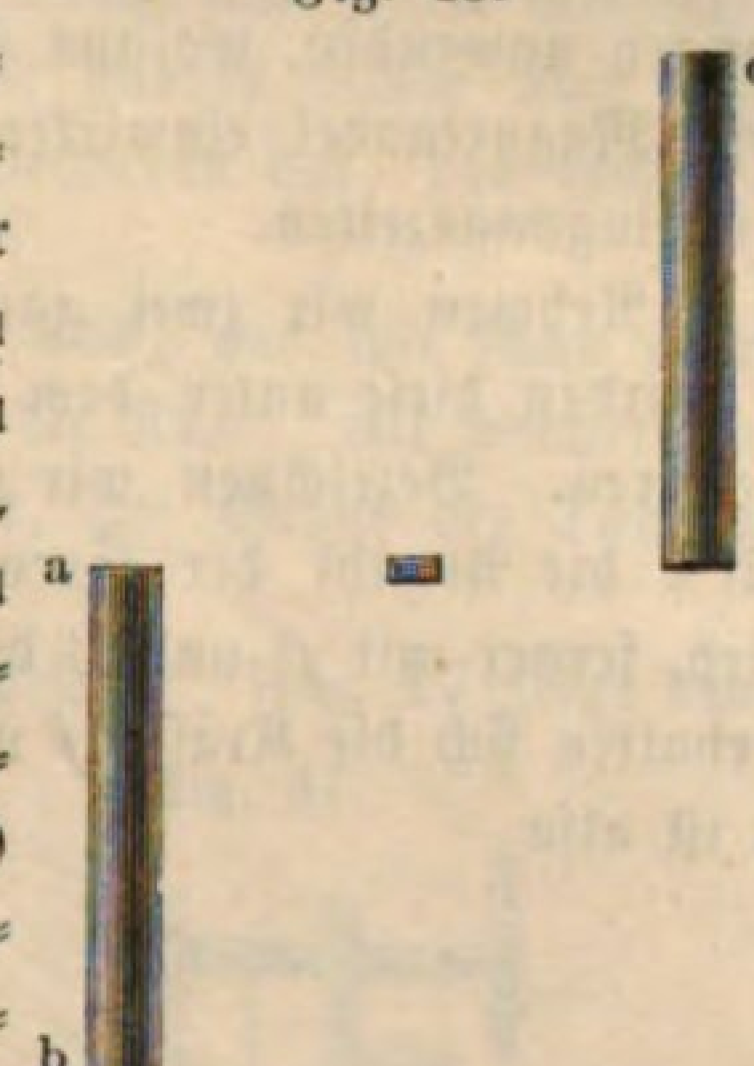


Kehrt man nun den Ring so um, daß die bisher untere Fläche die obere wird, so erhält man eine dritte Stellung der Eisenstäbe, Fig. 44, und eine vierte, Fig. 45, endlich, wenn man den Ring wieder in seiner Ebene um 180⁰ dreht.

Fig. 44.



Fig. 45.



Bei diesen vier Stellungen waren die Eisenstäbe stets in gleicher Weise eingeklemmt; nun aber kann man jeden in seinem Halter umkehren, so daß die Stabenden *b* und *d* in die Horizontalebene des Magnetstäbchens kommen. Nach dieser Veränderung wiederholt man die Beobachtung in den eben besprochenen vier Stellungen und erhält so für die gesuchte Ablenkung acht Beobachtungen, aus denen man das Mittel nimmt.

Verschiedene Mittel, die magnetischen Kräfte zu messen. 18
Das erste Mittel, welches sich darbietet, die Stärke natürlicher und künstlicher Magnete zu vergleichen, besteht darin, sie mit einem Stück Eisen in Verbindung zu bringen, welches man mehr und mehr mit Gewichten belastet, bis es endlich abreißt und auf diese Weise also die Tragkraft des Magneten ermittelt. Dieses Mittel kann nur eine rohe Annäherung geben, wie wir bald sehen werden, es war jedoch das einzige, welches man bis 1780 anwandte.

In dieser Zeit brach Coulomb durch seine schönen Entdeckungen eine neue Bahn in der Wissenschaft. Er gab Methoden an, um die magnetischen Kräfte mit äußerster Genauigkeit zu messen.

Coulomb wandte zwei verschiedene Mittel an, um die Stärke der Magnete zu messen. 1) Die Oscillationen einer an einem Seiden- oder Platin-

faden aufgehängten Nadel; 2) die Drehung von Kupfer- oder Silberfäden in der Torsionswage, welche man nach ihm die Coulomb'sche Drehwage nennt.

19 **Methode der Oscillationen.** Eine Magnetnadel, welche unter dem Einflusse des Erdmagnetismus oscillirt, kann als ein zusammengesetztes Pendel betrachtet werden, und die absolute Größe und Kraft, welche sie in Bewegung setzt, läßt sich ausmitteln, wenn man das Trägheitsmoment der Nadel in Beziehung auf die Anhängungsaxe und die Zahl der Schwingungen kennt, welche sie in einer gegebenen Zeit macht. Wir werden auf diesen Punkt weiter unten zurückkommen, wo von der Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus die Rede sein wird. Die absolute Kraft aber, unter deren Einfluß die Nadel oscillirt, ist ein zusammengesetztes Element, welches zugleich von der Intensität des Erdmagnetismus und dem magnetischen Zustande der Nadel abhängt.

Auf eine oscillirende Magnetnadel lassen sich alle Gesetze der Pendelbewegungen anwenden, woraus sich ergiebt, daß die magnetischen Kräfte, welche auf eine Magnetnadel einwirken, sich umgekehrt verhalten wie die Quadrate der Schwingungszeiten.

Nehmen wir zwei ganz gleiche, aber ungleich stark magnetisirte Nadeln, so werden diese unter dem Einflusse des Erdmagnetismus nicht gleich schnell oscilliren. Bezeichnen wir mit f die Kraft, welche auf die eine Nadel wirkt, mit t die Anzahl der Secunden, während welcher eine Oscillation vollendet wird, ferner mit f' und t' die entsprechenden Größen für die andere Nadel, so verhalten sich die Kräfte f und f' umgekehrt wie die Quadrate von t und t', es ist also

$$\frac{f}{f'} = \frac{t'^2}{t^2}.$$

Hätte z. B. die eine Nadel 6 Secunden, die andere aber nur 4″ zu einer Oscillation gebraucht, so könnte man nach diesem Gesetze schließen, daß die magnetische Kraft, welche die letztere beschleunigt, sich zu der ersteren verhält, wie 36 zu 16.

Die Schwingungszeit verhält sich offenbar umgekehrt wie die Zahl der Schwingungen, die in einer gegebenen Zeit, etwa in 1 Minute, gemacht werden. Bezeichnet man mit n die Anzahl der Schwingungen, welche die erste der beiden Nadeln in einer Secunde macht, mit n' die entsprechende Zahl für die zweite Nadel, so hat man

$$\frac{f}{f'} = \frac{n^2}{n'^2}.$$

Wenn außer dem Erdmagnetismus noch ein anderer Magnet auf eine oscillirende Nadel einwirkt, so können dadurch, je nach den Umständen, die Oscillationen schneller oder langsamer werden, als es unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus der Fall gewesen wäre, immer aber läßt sich aus

der beobachteten Schwingungsdauer auf das Verhältniß der beschleunigenden Kräfte schließen.

Nehmen wir an, man habe eine an einem ungedrehten Seidenfaden aufgehängte Nadel nur unter dem Einflusse des Erdmagnetismus schwingen lassen, ihre Schwingungsdauer t beobachtet, und nähere dann der Nadel einen Magneten in der Art, daß dem Nordpol der Nadel der Südpol des Magneten zugekehrt ist, so werden offenbar die Oscillationen schneller werden, die jetzt beobachtete Schwingungsdauer t' ist kleiner als t. Wenn f die Kraft bezeichnet, welche die Nadel beschleunigt, wenn nur der Erdmagnetismus wirkt, f' aber die durch die Annäherung des zweiten Magneten modificirte Kraft, so haben wir wieder

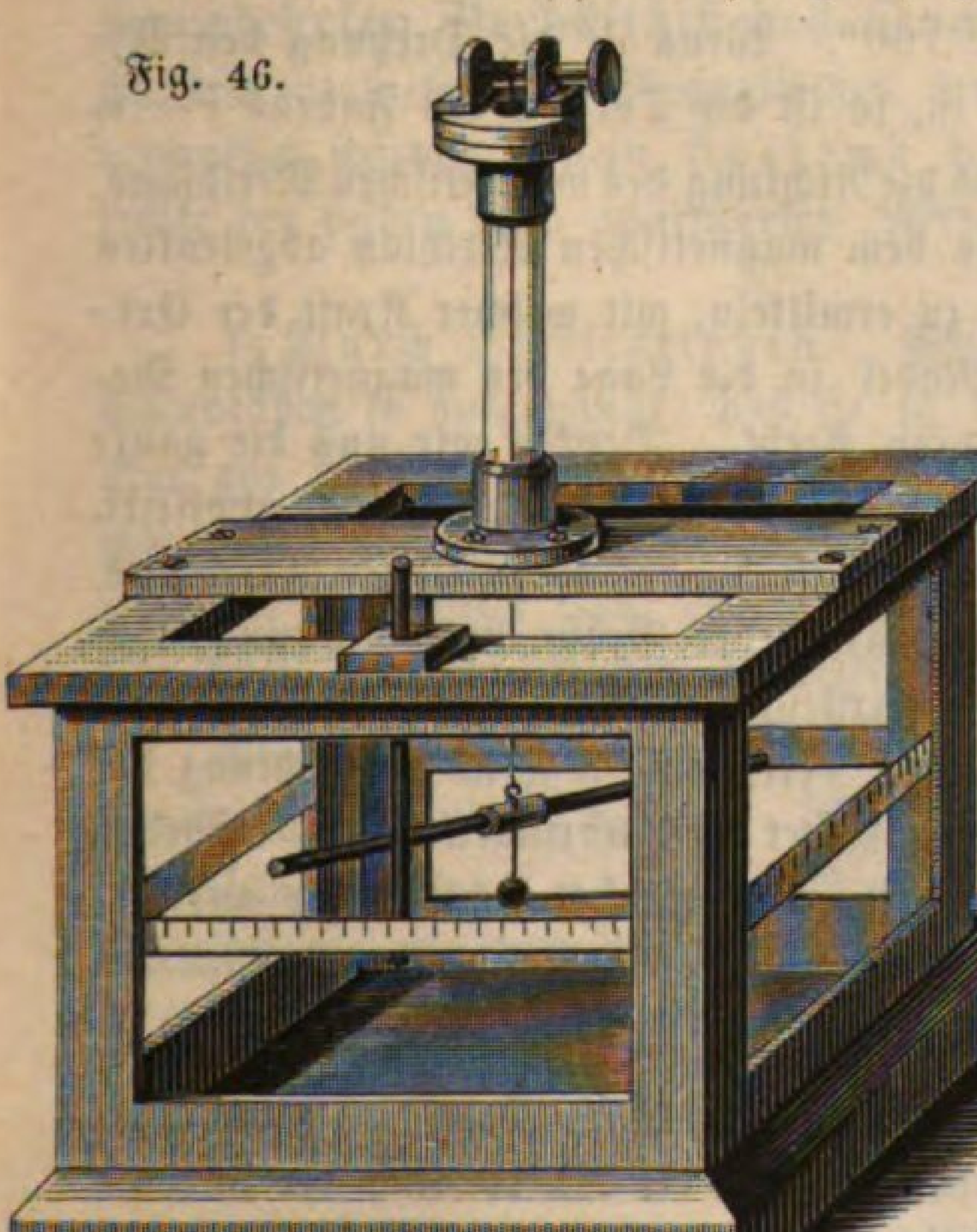
$$\frac{f}{f'} = \frac{t'^2}{t^2}.$$

Die Drehwage. Wenn ein Metallfaden durch ein angehängtes Gewicht in verticaler Richtung gespannt ist, so nimmt er eine bestimmte Gleichgewichtslage an. Wenn man das Gewicht durch Drehung aus seiner Gleichgewichtslage herausbringt, so erleidet der Faden seiner ganzen Länge nach eine Torsion, eine Windung, in Folge welcher er ein Bestreben hat, das Gewicht wieder in seine Gleichgewichtslage zurückzuführen. 20

Coulomb hat zuerst die Torsionskraft studirt und, wie wir schon oben (Band I. Seite 74) gesehen haben, gefunden, daß die Kraft, mit welcher der Draht in die Gleichgewichtslage zurückzukehren strebt, der Größe der Torsion proportional sei.

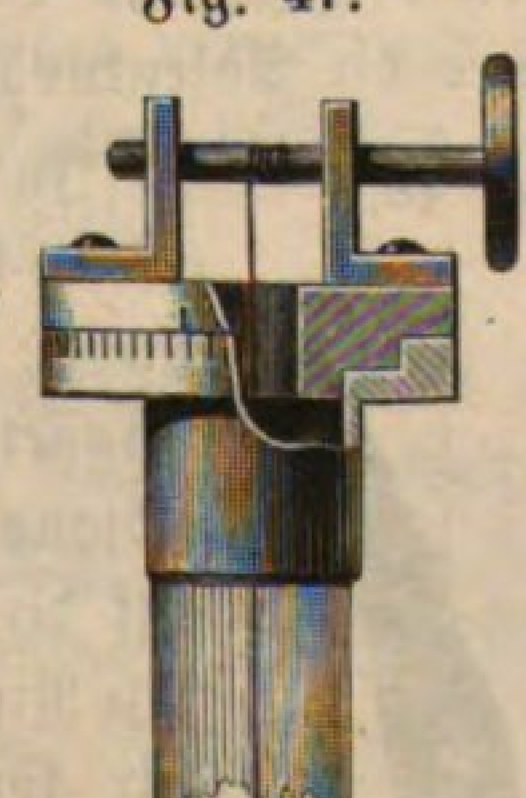
Die Coulomb'sche Drehwage ist Fig. 46 dargestellt. Fig. 47 zeigt den oberen Theil in einem größeren Maßstabe. Der verticale Cylinder, in welchem der Faden herabhängt, ist oben mit einer Messingfassung versehen, welche mit einem Ringe $s s'$ endet. Darauf paßt eine in der

Fig. 46.



$\frac{1}{6} - \frac{1}{8}$

Fig. 47.



Mitte durchbrochene Messingplatte *mm'*, welche sich mit sanfter Reibung um die verticale Axe des Cylinders drehen läßt. Der Ring *ss'* ist an seinem äußeren Umfange in Grade getheilt, und die Scheibe *mm'* hat einen Index, mittelst dessen man die Größe der vorgenommenen Drehungen ablesen kann.

Am unteren Ende des Fadens hängt eine Art Bügel von Messing oder eine Hülse, in welche man die Magnetstäbe hineinlegt. Am Umfange des Kastens ist ein Papierstreifen aufgeklebt, welcher mit einer Theilung versehen ist. Der Faden muß genau im Mittelpunkte dieser Theilung hängen.

Wenn das Instrument gehörig justirt ist, bestimmt man die Gleichgewichtslage des Fadens, indem man einen nicht magnetischen Stab in die Hülse steckt und den Kopf des Apparates so lange dreht, bis dieser Stab genau in dem magnetischen Meridian liegt; wenn man nun eine magnetisirte Nadel in den Bügel legt, so wird sie durch zwei Kräfte in dieser Lage zurückgehalten, durch die richtende Kraft des Erdmagnetismus und durch den Faden, welcher bei dieser Lage ohne Torsion ist.

Wenn nun der Kopf des Apparates aus dieser Lage herausgedreht wird, so würde auch der Stab dieser Drehung folgen, wenn er nicht magnetisch wäre. Der Faden strebt den Stab in diejenige Lage zu bringen, bei welcher er ohne Torsion sein würde, der Erdmagnetismus aber zieht ihn in den magnetischen Meridian zurück; unter dem Einflusse dieser beiden Kräfte nun muß der Stab irgend eine Zwischenlage annehmen, welche von dem Verhältnisse der beiden Kräfte abhängt.

Das Mikrometer, d. h. die Platte *mm'*, sei um 180° gedreht und dadurch die Nadel um 20° vom magnetischen Meridian abgelenkt worden, so beträgt die Torsion des Fadens $180 - 20 = 160°$. Wenn V die Drehung des Mikrometers, v die Ablenkung der Nadel ist, so ist die Torsion des Fadens $V - v$.

Fig. 48.



In Fig. 48 sei *ab* die Richtung des magnetischen Meridians, *cd* die Lage der aus dem magnetischen Meridian abgelenkten Nadel, so ist leicht zu ermitteln, mit welcher Kraft der Erdmagnetismus die Nadel in die Lage des magnetischen Meridians zurückzuführen strebt. Denken wir uns die ganze auf die Nadel wirkende magnetische Kraft in *d* applicirt. Die Richtung dieser Kraft ist die des magnetischen Meridians, wir können also die Kraft der Größe und Richtung nach durch eine Linie *dn* darstellen. Diese Kraft läßt sich aber in zwei andere zerlegen, deren eine *dg*, in der Richtung der Nadel wirkend, keinen Effect hervorbringen kann, während die andere Composante *dh*, welche rechtwinklig auf die Richtung der Nadel angreift, dieselbe zu drehen strebt.

Bezeichnet m die totale Kraft *dn*, so ist die Composante *dh* gleich $m . \sin. v$, und dieser Kraft muß die Torsionskraft des Fadens, welche die Nadel nach der anderen Seite zu drehen strebt, das Gleichgewicht halten.

Wenn v klein, d. h. wenn es unter 20° ist, so kann man ohne merklichen Fehler den Bogen für den Sinus setzen.

Dividirt man den Torsionswinkel des Fadens $V - v$ durch den Ablenkungswinkel v, so erhält man einen Quotienten $\frac{V-v}{v}$, dessen Werth angiebt, wie viel Grade die Torsion des Fadens betragen müsse, um den Stab um 1° abzulenken. Für den vorhin betrachteten Fall ist $V - v = 160$ und $v = 20$, mithin jener Quotient $\frac{160}{20} = 8$, d. h. bei dem magnetischen Zustande des Stabes ist die Torsionskraft des Fadens für eine Drehung von 8° gerade hinreichend, um der Kraft das Gleichgewicht zu halten, mit welcher der Erdmagnetismus den Stab in den magnetischen Meridian zurückzuführen strebt, wenn er einen Winkel von 1° mit diesem Meridian macht.

Nehmen wir an, derselbe Stab, mit welchem der vorige Versuch angestellt worden war, sei stärker magnetisirt worden, man hätte das Mikrometer um 495° drehen müssen, damit der Stab um 15° abgelenkt wird, so wäre die Torsion des Fadens $495 - 15 = 480°$. Für diesen Fall ist die Torsion des Fadens, welche einer Ablenkung von 1° entspricht, $\frac{480}{15} = 32°$. In dem letzteren Falle war also die magnetische Kraft des Stabes 4mal so groß als im ersteren.

Die magnetischen Anziehungen und Abstoßungen stehen im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernungen. 21 Dieses Fundamentalgesetz des Magnetismus war schon früher von einigen Physikern vermuthet worden, allein Coulomb hat die Richtigkeit desselben zuerst mit Hülfe der beiden oben angeführten Methoden nachgewiesen.

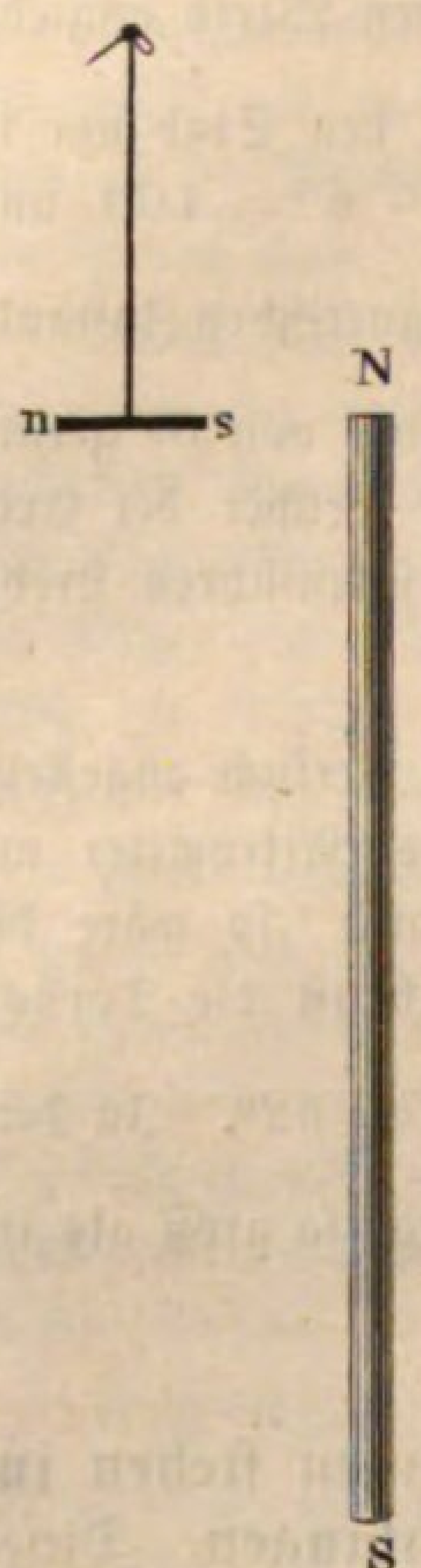
1) Durch Oscillationen. Eine kleine Magnetnadel wird an einem Coconfaden so aufgehängt, daß sie in horizontaler Ebene frei oscilliren kann, aber vor störenden Luftströmungen hinlänglich geschützt ist. Diese Nadel läßt man zuerst unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus oscilliren. Es sei n die beobachtete Zahl der Schwingungen in einer Minute, m der horizontale Theil der magnetischen Erdkraft, welche auf sie wirkt.

Nun läßt man den einen Pol eines möglichst stark magnetisirten Stahlstabes auf die Nadel wirken. Dieser Stahlstab wird in den magnetischen Meridian der Nadel ns, Fig. 49 (a. f. S.), gebracht und zwar in vertikaler Stellung, so daß dem Pol s der Nadel derjenige Pol N des Stabes zugekehrt ist, auf welchen er anziehend wirkt.

Der Stab NS muß so groß sein, daß die Entfernung sN sehr klein ist im Vergleich zur Entfernung sS, daß man also die Wirkung des Pols S auf s ohne merklichen Fehler vernachlässigen kann.

Bezeichnen wir mit n' die Zahl der Schwingungen der Nadel für den Fall, daß der Pol N des Stabes NS aus einer bestimmten Entfernung auf die Nadel wirkt, und mit f' die Kraft, welche nun die oscillirende Nadel beschleunigt, so hat man im Vergleiche mit dem vorigen Versuche

Fig. 49.



$$\frac{f'}{f} = \frac{n'^2}{n^2}.$$

Hätte die Nadel unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus 15 Schwingungen in einer Minute gemacht, hingegen 41, wenn der Pol N des Stabes sich 4 Zoll weit von der Nadel befindet, so hätte man

$$\frac{f'}{f} = \frac{41^2}{15^2}.$$

Man bringt nun den Stab in die doppelte Entfernung, so daß N 8 Zoll weit von der Nadel ist, und beobachtet alsdann die Zahl der Oscillationen; gesetzt, man fände ihre Anzahl in einer Minute $n'' = 24$, so ist, wenn man mit f'' die in diesem Falle auf die Nadel wirkende Kraft bezeichnet,

$$\frac{f''}{f} = \frac{24^2}{15^2}.$$

Die Größe f' ist offenbar die Summe der erdmagnetischen Kraft und der anziehenden Kraft, welche der Pol N aus einer Entfernung von 4 Zoll auf die Nadel ausübt; letztere ist also offenbar $f' - f$. Ebenso ist die anziehende Kraft, welche der Stab aus einer Entfernung von 8 Zoll auf die Nadel ausübt, $f'' - f$. Durch die Combination der beiden letzten Gleichungen ergiebt sich aber ganz leicht

$$\frac{f' - f}{f'' - f} = \frac{41^2 - 15^2}{24^2 - 15^2} = \frac{1456}{351} = 4{,}1.$$

Dieser Versuch zeigt also, daß die anziehende Kraft eines magnetischen Pols in doppelter Entfernung wirklich nahe 4mal schwächer wird.

2) Mit der Drehwage. Auch für diese Versuche muß man lange magnetische Stahlstäbe oder Drähte anwenden, damit die Wirkung des einen Pols gegen die des anderen verschwindend werden könne. Coulomb's Stäbe waren 24 Zoll lang, hatten $^1/_2$ bis 1 Linie Durchmesser und waren möglichst stark magnetisch. Ein solcher Stab wurde in den Bügel der Drehwage Fig. 46 gebracht, also horizontal aufgehängt; ein vorläufig angestellter Versuch ergab, daß eine Torsion von 35^0 nöthig war, um den Stab um 1^0 von dem Meridian abzulenken. Nun wurde ein zweiter Stab von oben in verticaler Richtung in den Kasten hineingesteckt und zwar so, daß der nach unten gekehrte

Pol den zunächstliegenden des horizontalen Stabes abstieß. Der horizontale Magnetstab kam nun in einer Lage zur Ruhe, welche einen Winkel von 24° mit dem magnetischen Meridian machte.

Bei dieser Lage des hängenden Stabes sind es zwei Kräfte, welche ihn in den magnetischen Meridian zurückzuführen streben, die Erdkraft und eine Torsion des Fadens von 24°. Da aber für jeden Grad Ablenkung die Kraft, welche den Stab in den Meridian zurückzuführen strebt, einer Torsionskraft von 35° gleich ist, so ist die Composante der Erdkraft, welche bei einer Ablenkung von 24° die Nadel zurückzuführen strebt, einer Torsionskraft von 24 . 35 oder 840° gleich, wozu noch die 24°, d. h. die Torsion, welche der Faden wirklich hat, addirt werden müssen. Die Totalkraft ist also 864°.

Nun wurde das Mikrometer so gedreht, daß durch die Torsion des Fadens die horizontale Nadel dem Stabe näher kam. Die Drehung betrug 3mal 360, also 1080°, und dadurch wurde die Nadel auf 17° dem magnetischen Meridian genähert. Dann wurde das Mikrometer noch um 5mal 360° gedreht, so daß also jetzt die Totalumdrehung 2880° betrug. Dadurch wurde der horizontale Stab dem verticalen auf 12° genähert.

Für die zweite Stellung war das Aequivalent der Erdkraft eine Torsion von 17 . 35 = 595 Graden. Addirt man dazu die wirkliche Torsion des Fadens 1080 + 17 = 1097°, so erhält man eine Torsionskraft von 1698° als Maaß für die abstoßende Kraft, welche der untere Pol des eingeschobenen Magneten ausübt.

Auf dieselbe Weise findet man für die dritte Lage die abstoßende Kraft gleich der Torsionskraft von 3312°.

Die Entfernungen in diesen Versuchen verhalten sich also wie 24 : 17 : 12, die entsprechenden abstoßenden Kräfte aber wie 864 : 1698 : 3312, welche letztere Zahlen sich zu einander sehr nahe umgekehrt verhalten wie die Quadrate der ersteren.

Totalwirkung eines Magnetstabes in die Ferne. Das eben 22
bewiesene Gesetz bezieht sich streng genommen nur auf die Anziehung und Abstoßung der magnetischen Elemente. Die Gesammtwirkung eines magnetischen Körpers verhält sich aber ganz anders. Die eben angeführten Versuche stellten auch nur deshalb das Gesetz wenigstens annäherungsweise heraus, weil die Anordnung so getroffen war, daß der eine Pol des zu prüfenden Magnets in so großer Entfernung war, daß er die Wirkung des anderen nicht wesentlich modificiren konnte. Ist jedoch diese Bedingung nicht erfüllt, so stellen sich ganz andere Resultate heraus, und wenn die Entfernungen groß genug sind gegen die Dimensionen des Magnets, so verhalten sich die Totalwirkungen desselben sehr nahe umgekehrt wie die dritten Potenzen der Entfernungen

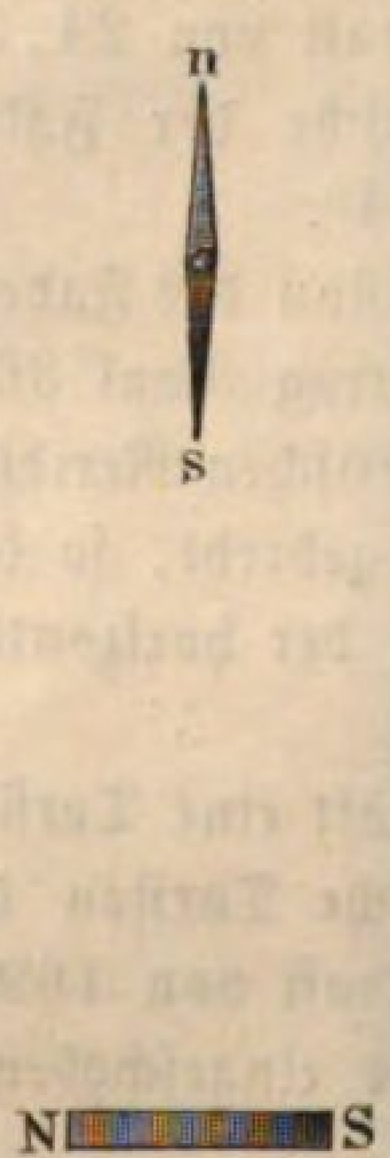
Dieses Gesetz der Totalwirkung eines Magneten ergiebt sich als nothwendige Folge daraus, daß die Wirkung der magnetischen Elemente auf einander im Verhältniß des Quadrats der Entfernung abnimmt. Gauß hat diesen Gegenstand ganz allgemein entwickelt und Formeln gegeben, nach welchen sich

die gegenseitige Einwirkung zweier Magnete für jede beliebige gegenseitige Lage berechnen läßt. Für uns sind jedoch nur zwei specielle Lagen von besonderer Wichtigkeit, und wir wollen deshalb auch nur diese betrachten.

Ein Magnetstab und eine nur um eine verticale Axe drehbare Magnetnadel sollen sich in derselben Horizontalebene befinden, und zwar liege

1) der Drehpunkt der Nadel auf derjenigen Linie, welche durch die Mitte des Magnetstabes gehend, rechtwinklig auf seiner Längenaxe steht, wie dies Fig. 50 dargestellt ist. In diesem Falle wird der Stab NS die Nadel parallel mit seiner Richtung zu stellen streben; oder

Fig. 50.

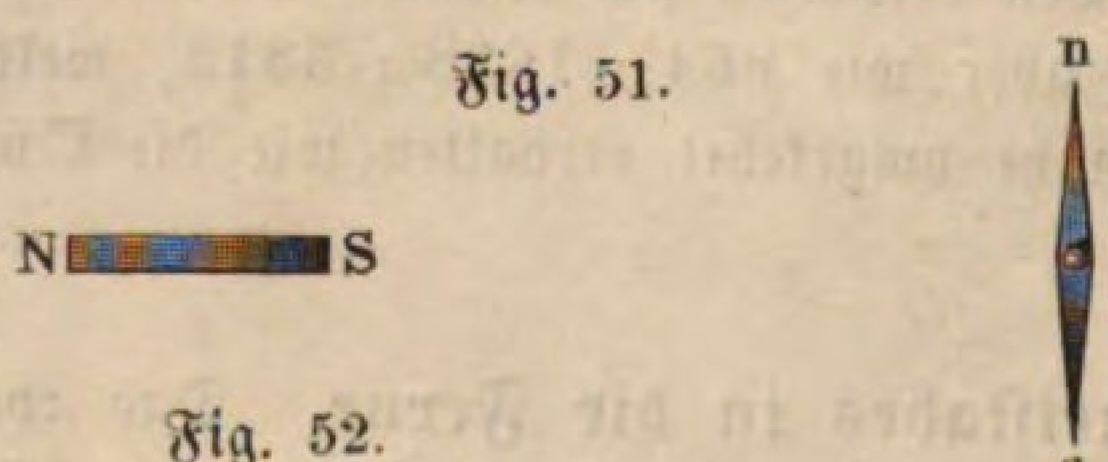


2) es liege der Mittelpunkt der drehbaren Nadel in der Verlängerung des Stabes, wie Fig. 51; in diesem Falle geht die Wirkung des Stabes dahin, die Nadel so zu stellen, daß ihre Längenaxe in die Verlängerung des Stabes fällt.

In Fig. 50 sowohl, als in Fig. 51 sind die Nadeln rechtwinklig zu der durch den Magnetstab bedingten Gleichgewichtslage dargestellt. Berechnen wir für beide Fälle die Kraft, mit welcher der Magnetstab die Nadel zu drehen strebt, wenn diese rechtwinklig zu der durch den Magnetstab bedingten Gleichgewichtslage steht.

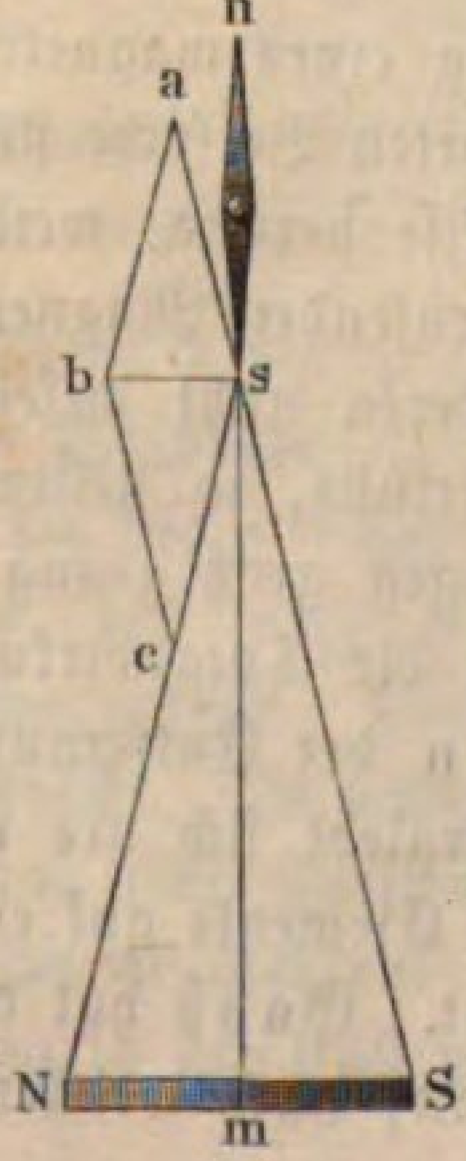
Erster Fall. Der Pol S, Fig. 52, stößt den Pol s ab, und zwar in der Richtung sa. Bezeichnen wir mit q die abstoßende Kraft, welche diese beiden Pole in der Entfernung 1 auf einander ausüben, so ist

Fig. 51.



$\frac{q}{r^2}$ die abstoßende Kraft, welche sie wirklich auf einander ausüben, wenn ihre Entfernung mit r bezeichnet wird.

Fig. 52.



Die Kraft $\frac{q}{r^2}$, mit welcher der Pol S den Pol s abstößt, kann durch die Linie sa dargestellt werden.

Der Pol N wirkt anziehend auf s, und zwar zieht er ebenso stark an, wie S abstößt, weil S und N gleichweit von s entfernt sind; die anziehende Kraft kann also durch die Linie sc dargestellt werden. Nach dem Gesetze des Parallelogramms der Kräfte ergiebt sich sb als Resultirende der beiden Kräfte sa und sc. Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke NSs und bsa aber ergiebt sich die Proportion

$$Ss : SN = as : bs$$

Da nun $Ss = r$, $sa = \frac{q}{r^2}$ ist, so geht jene Proportion über in

$$r : 2\,l = \frac{q}{r^2} : f,$$

wenn wir mit f den Werth der Resultirenden bs, d. h. die Totalwirkung des Magneten SN auf den Pol s, und mit l die halbe Länge des Magneten bezeichnen; daraus ergiebt sich

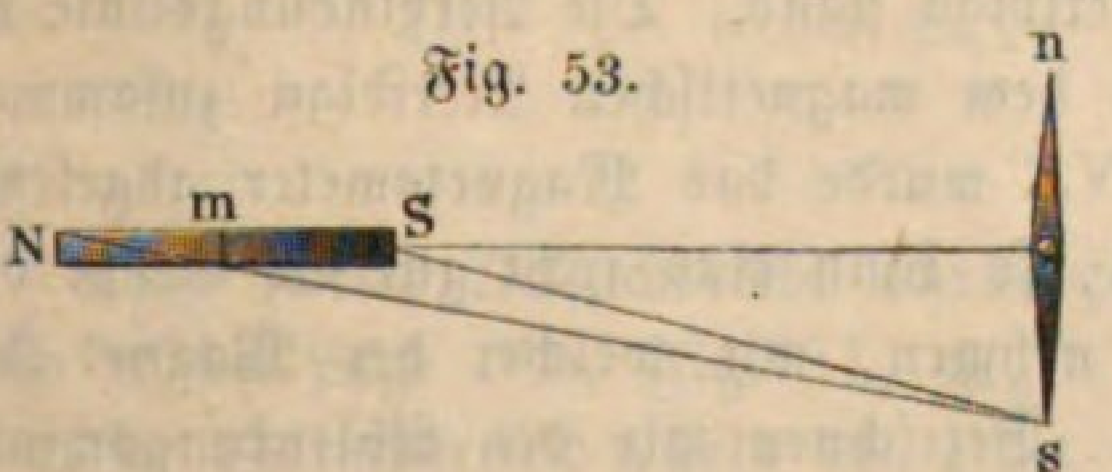
$$f = \frac{2\,l\,q}{r^3} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Der Werth f, d. h. die Totalwirkung des Magneten NS auf den anderen steht also im umgekehrten Verhältniß der dritten Potenz von r.

Ist l sehr klein im Vergleich zu r, so ist sm nicht wesentlich von sS verschieden, und in diesem Falle läßt sich der Satz so aussprechen: Die Totalwirkung eines Magneten in die Ferne muß der dritten Potenz der Entfernung umgekehrt proportional sein, wenn die Wirkung der einzelnen Pole im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung abnimmt.

Zweiter Fall. Wenn q die Kraft ist, mit welcher der Pol N den Pol s aus der Entfernung 1 anzieht, so ist seine anziehende Kraft für die Entfernung Ns gleich $\frac{q}{(r+l)^2}$, wenn mit r die Entfernung ms und mit l die halbe Länge des Magneten NS bezeichnet wird; die abstoßende Kraft aber, mit welcher S auf s wirkt, ist demnach gleich $\frac{q}{(r-l)^2}$. Wenn ns klein ist im Vergleich zu der Entfernung des Magnetstabes NS, so kann man ohne merklichen Fehler die Richtung der beiden auf s wirkenden Kräfte als gleich und rechtwinklig auf ns annehmen. Demnach ist die Totalkraft, mit welcher der Magnet NS auf s wirkt,

Fig. 53.



$$F = \frac{q}{(r-l)^2} - \frac{q}{(r+l)^2} = q\,[(r-l)^{-2} - (r+l)^{-2}].$$

Wenn man $(r-l)^{-2}$ nach dem binomischen Lehrsatze in einer Reihe entwickelt, so kommt

$$r^{-2} + 2\,r^{-3}\,l + 3\,r^{-4}\,l^2 + 4\,r^{-5}\,l^3 + \text{etc.}$$

Der Ausdruck $(r+l)^{-2}$ giebt eine ganz ähnliche Reihe, welche sich von dieser nur dadurch unterscheidet, daß alle Glieder, welche mit ungeraden Potenzen von l behaftet sind, das entgegengesetzte Zeichen haben, wenn man also die Reihe für $(r+l)^{-2}$ abzieht von der Reihe für $(r-l)^{-2}$, so fällt r^{-2} weg, und ebenso alle Glieder, welche mit geraden Potenzen von l behaftet sind, während sich die anderen summiren, man erhält auf diese Weise

$$F = 4\,lqr^{-3} + 8\,l^3qr^{-5} + etc. = \frac{4\,lq}{r^3} + \frac{8\,l^3q}{r^5} + etc.$$

Wenn man alle folgenden Glieder der Reihe gegen das erste vernachlässigt, was um so mehr erlaubt ist, als r im Vergleich zu l wächst, so hat man also

$$F = \frac{4\,lq}{r^3}.$$

Vergleichen wir diesen Werth F mit dem für die erste Lage gefundenen Werth von f, so ergiebt sich

$$F = 2f.$$

Alle vernachlässigten Glieder haben zum Nenner eine Potenz von r, welche höher ist als die dritte.

Gehen wir nun zu den Versuchen über, welche Gauß anstellte, um zu zeigen, daß sich die Totalwirkung eines Magneten in die Ferne wirklich wie die dritte Potenz seiner Entfernung verhält.

Für den Magnet ns wurde ein Magnetometerstab angewandt, wie wir sie schon oben (Seite 25) kennen gelernt haben. Südlich von demselben wurde ein anderer ähnlicher Magnetstab so gelegt wie NS, Fig. 50, daß er also rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian stand. Die Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Magnete fiel mit dem magnetischen Meridian zusammen. Durch die Einwirkung des Stabes NS wurde das Magnetometer abgelenkt, und da der Ablenkungswinkel klein ist, so kann man recht gut die Größe dieses Winkels für ein Maß der Kraft nehmen, mit welcher der Magnet NS das Magnetometer zu drehen strebt. Bezeichnen wir den Ablenkungswinkel mit v. Der einer bestimmten Entfernung beider Stäbe entsprechende Werth von v wurde jedoch nicht durch einen Versuch, sondern als Mittel aus vier Versuchen bestimmt.

Bei der Fig. 50 dargestellten Lage wird der Pol s nach der linken Seite hin abgelenkt werden. Kehrt man aber den Magnet NS so um, daß N dahin zu liegen kommt, wo jetzt S ist, und S dahin, wo jetzt N ist, so wird eine ebenso große Ablenkung nach der rechten Seite erfolgen.

Nachdem die Ablenkungen für die beiden eben erwähnten Lagen ermittelt waren, wurde der Magnetstab in der nämlichen Weise in gleicher Entfernung nördlich vom Magnetometer placirt, und zwar einmal so, daß der Pol N östlich, und dann so, daß derselbe Pol westlich lag; dadurch wurde das Magnetometer wieder einmal östlich und einmal westlich abgelenkt. Um den Werth von v mit möglichster Genauigkeit zu bestimmen, wurde das Mittel aus diesen vier Beobachtungen genommen.

Es wurde nun eine Reihe solcher Versuche für verschiedene Entfernungen angestellt; die folgende Tabelle enthält die Resultate derselben. In der ersten Columne unter r ist immer die Entfernung der Aufhängungsaxe des Magnetometers von dem Mittelpunkte des Stabes NS in Metern angegeben, die zweite Columne unter v enthält die entsprechenden Ablenkungen.

r	v	v′
1,1m	1° 57′ 24,8″	
1,2	1 29 40,5	
1,3	1 10 19,3	2° 13′ 51,2
1,4	0 55 58,9	1 47 28,6
1,5	0 45 14,3	1 27 19,1
1,6	0 37 12,2	1 12 7,6
1,7	0 30 57,9	1 0 9,9
1,8	0 25 59,5	0 50 52,5
1,9	0 22 9,2	0 43 21,8
2,0	0 19 1,6	0 37 16,2
2,1	0 16 24,7	0 32 4,6
2,5	0 9 36,1	0 18 51,9
3,0	0 5 33,7	0 11 0,7
3,5	0 3 28,9	0 6 56,9
4,0	0 2 22,2	0 4 35,9

Eine zweite Versuchsreihe wurde gemacht, indem man den ablenkenden Stab in die Lage *NS*, Fig. 51, gegen den Magnetometerstab brachte. Auch bei dieser Versuchsreihe wurde der, jeder Entfernung entsprechende Ablenkungswinkel nicht aus einem, sondern als Mittel aus vier Versuchen bestimmt. Bei der Lage, wie sie Fig. 51 dargestellt ist, erhält man eine westliche Ablenkung; dann wurde der Magnet so umgekehrt, daß *N* an die Stelle von *S* und *S* an die Stelle von *N* kam; dadurch erhielt man eine entsprechende östliche Ablenkung. Nun wurde der Magnet ebenso weit ostwärts vom Magnetometer placirt, und zwar wurde einmal *N* nach Osten, einmal nach Westen gekehrt, und so erhielt man abermals eine östliche und eine westliche Ablenkung. Aus den vier so beobachteten Ablenkungen wurde das Mittel genommen. Die eben angeführte Tabelle enthält in der dritten Columne v' die Mittelwerthe der Ablenkungen, wie sie bei dieser Versuchsweise für die verschiedenen Entfernungen gefunden wurden.

Schon ein flüchtiger Ueberblick dieser Tabelle zeigt, daß für die größeren Entfernungen die Zahlen der zweiten Columne sich unter einander wirklich sehr nahe umgekehrt verhalten wie die dritten Potenzen der entsprechenden Werthe von *r*. Dasselbe ergiebt sich auch, wenn man die Zahlen der dritten Columne mit denen der ersten vergleicht. Wir sehen daraus, daß die Totalwirkung eines Magneten auf Entfernungen, die einigermaßen groß sind gegen seine Dimensionen, sich wirklich umgekehrt verhalten, wie die dritten Potenzen

dieser Entfernungen, also gerade so, wie es sich als Folgerung aus der Annahme ergiebt, daß die Wirkung jedes Poles (oder, besser ausgedrückt, jedes magnetischen Elementes) sich umgekehrt verhält wie das Quadrat der Entfernung.

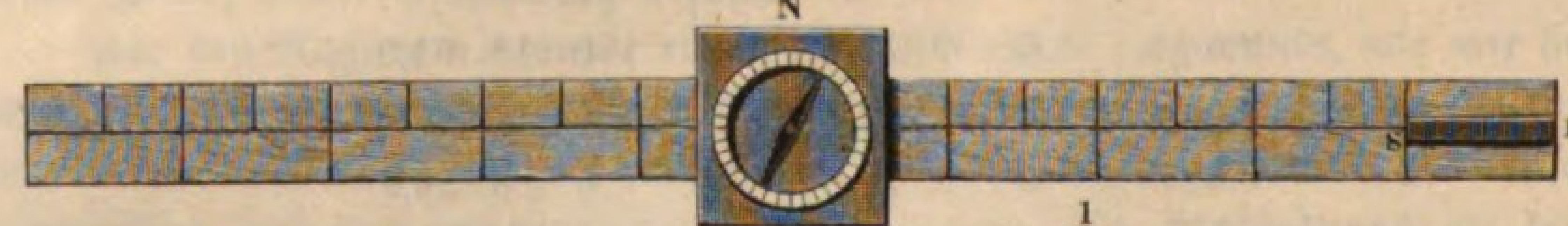
Nach den obigen Entwickelungen ist

$$F = 2f,$$

und in der That sind die Zahlen der dritten Columne stets sehr nahe doppelt so groß als die entsprechenden Zahlen der zweiten.

Die Versuche über die Totalwirkung der Magnete lassen sich auch ohne Magnetometer nach W. Weber's Angaben mit einer gewöhnlichen Bussole, die nur in ganze Grade getheilt ist, anstellen, da man noch 10tel Grade schätzen kann. Die Bussole wird auf die Mitte eines etwas breiten Maßstabes gesetzt, der nur in Decimeter getheilt zu sein braucht. Der Maßstab ist 1 Meter lang. Bei einer Versuchsreihe wird der Maßstab rechtwinklig auf den magnetischen Meridian gelegt, wie Fig. 54 zeigt. Der Magnetstab *ns*, den man

Fig. 54.



zu den Ablenkungsversuchen anwendet, ist am besten genau 1 Decimeter lang. Wie ihn die Fig. 54 zeigt, ist die Entfernung seiner Mitte vom Mittelpunkte der Nadel 450 Millimeter; außerdem beobachtete Weber noch die Ablenkung für die Entfernungen 350 Millimeter und 300 Millimeter. Es versteht sich von selbst, daß für jede Entfernung auf die schon angegebene Weise vier Versuche gemacht und aus deren Ergebniß das Mittel genommen wurde.

Für die zweite Versuchsreihe, Fig. 55, legt man den Maßstab in die Richtung des magnetischen Meridians und den ablenkenden Magneten rechtwinklig auf denselben. Wiederholt man nun die Versuche, so wird man finden, daß die Ablenkungen jetzt sehr nahe halb so groß sind, als man in der ersten Versuchsreihe für dieselbe Entfernung gefunden hatte.

Zum Behufe magnetischer Intensitätsbestimmungen hat Weber die Ablenkungen für die in Fig. 54 dargestellte Anordnung und die Entfernungen 450, 350 und 300 Millimeter bestimmt. Die Versuche gaben die in folgender Tabelle zusammengestellten Resultate.

r	*v*	*tang. v*
0,45m	11° 24′ 0″	0,29163
0,35	23° 28′ 50″	0,43440
0,30	35° 17′ 25″	0,70779

Die unter v stehenden Ablenkungen sind das Mittel aus vier Versuchen.

Fig. 55.



$\frac{1}{10}$

Es versteht sich von selbst, daß die Größe der Ablenkung von der Individualität des Ablenkungsmagneten abhängt. Wäre der Magnet ns schwächer magnetisirt gewesen, so wären die Ablenkungen geringer ausgefallen.

Diese Resultate bestätigen nun vollkommen unsere oben gemachten Schlüsse über die Totalwirkung von Magneten. Nach den auf S. 52 gemachten Entwickelungen hat der Werth für die Totalwirkung eines Magneten die Form

$$F = \frac{x}{r^3} + \frac{y}{r^5} + \text{etc.}$$

Bei den Gauß'schen Versuchen war die Ablenkung so klein, daß man ohne merklichen Fehler den Ablenkungswinkel für das Maß der ablenkenden Kraft nehmen kann, bei diesen Versuchen aber ist der Ablenkungswinkel so groß, daß man diese Annahme nicht mehr machen darf. Wie wir früher gesehen haben, ist die Kraft, womit der Erdmagnetismus die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzudrehen strebt, $c . sin. v$; durch ein ganz ähnliches Raisonnement ergiebt sich aber auch, daß, wenn F das Drehungsmoment ist, mit welchem der Ablenkungsstab auf die Nadel wirkt, wenn sie im magnetischen Meridian steht, daß alsdann $F . cos. v$ das vom Stabe her auf die Nadel wirkende Drehungsmoment sei, wenn die Nadel einen Winkel v mit dem magnetischen Meridian macht. Für den Fall des Gleichgewichts aber ist

$$c \,.\, sin.\, v = F \,.\, cos.\, v.$$

und daraus

$$\frac{F}{c} = tang.\, v$$

$$F = c \,.\, tang.\, v.$$

woraus man ersieht, daß die ablenkende Kraft des Magneten nicht dem Ablenkungswinkel, sondern der Tangente des Ablenkungswinkels proportional ist; wir können also die Tangente des Ablenkungswinkels als Maaß für die Kraft des ablenkenden Magneten ansehen; für die Tangente des Ablenkungswinkels gilt also auch Alles, was von der ablenkenden Kraft selbst gesagt wurde, und wir haben also

$$tang.\, v = \frac{x}{r^3} + \frac{y}{r^5} + \text{etc.}$$

Jemehr nun r wächst, desto mehr nähert sich der Werth von $tang.\, v$ dem Werthe $\frac{x}{r^3}$. Multiplicirt man auf beiden Seiten mit r^3, so kommt

$$r^3 \; tang. v = x + \frac{y}{r^2} + \text{etc.}$$

Aus dieser Gleichung sieht man, daß, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels mit der dritten Potenz der Entfernung multiplicirt, ein Product herauskommen müsse, welches sich um so mehr einem Gränzwerthe x nähert, je größer r wird, d. h. für sehr große Werthe von r ist das Product $r^3 \; tang. v$ stets gleich, wie sich der Werth von r auch ändern mag. Je kleiner aber r wird, desto mehr Einfluß bekommt das Glied $\frac{y}{r^2}$; für kleinere Werthe von r wird also auch der Werth des Productes $r^3 \; tang. v$ den Gränzwerth x um so mehr übertreffen, je kleiner r ist.

Bei den eben angeführten Weber'schen Versuchen ist nun r so klein, daß es noch einen sehr merklichen Einfluß auf das Product $r^3 \; tang. v$ ausübt. Aus den angeführten Weber'schen Versuchen berechnet man folgende Werthe von $r^3 \; tang. v$.

0,018374000	für die Entfernung	0,45^m
0,018625000	» » »	0,35
0,019110000	» » »	0,30.

Wir sehen also, daß für kleinere r jenes Product immer größer wird.

Für die folgenden Bestimmungen der Intensität des Erdmagnetismus ist es von der größten Wichtigkeit, den Gränzwerth zu ermitteln, dem sich das Product $r^3 \; tang. v$ immer mehr nähert, je größer r wird.

Für die Entfernung 450 Millimeter ist der Werth von $tang. v$ gleich 0,20163, wenn wir nur die beiden ersten Glieder im Werthe von $tang. v$ berücksichtigen, so hat man die Gleichung

$$0{,}20163 = \frac{x}{0{,}45^3} + \frac{y}{0{,}45^5} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

für die Entfernung 300 Millimeter ist der Werth von $tang. v$ gleich 0,70779, es ist also

$$0{,}70779 = \frac{x}{0{,}3^3} + \frac{y}{0{,}3^5} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Aus diesen beiden Gleichungen läßt sich nun der Werth von x bestimmen, man findet

$$x = 0{,}017784.$$

Dies würde genau der Gränzwerth sein, dem sich das Product $r^3 \; tang. v$ um so mehr nähert, je größer r wird, wenn die Versuche ganz frei von Beobachtungsfehlern wären. In diesem Falle müßte man auch genau denselben Werth von x finden, wenn man den ersten und zweiten Versuch in der Weise verbindet, wie wir es eben für den ersten und dritten gethan haben. Für die Entfernung 0,35^m ist der Werth von $tang. v$ gleich 0,4344, dies giebt die Gleichung

$$0{,}4344 = \frac{x}{0{,}35^3} + \frac{y}{0{,}35^5}.$$

Combinirt man diese Gleichung mit der Gleichung 1), so kommt

$$x = 0{,}01799.$$

Combinirt man auf dieselbe Weise den zweiten und dritten Versuch, so kommt

$$x = 0{,}01731.$$

Den wahrscheinlichsten Werth von x erhält man, wenn man aus jenen drei Werthen das Mittel nimmt, man findet auf diese Weise

$$x = 0{,}017667.$$

Weber hat nach der Methode der kleinsten Quadrate auf eine genauere Weise diesen Werth berechnet und 0,01753 gefunden, was mit unserm Resultate nahe zusammenfällt.

Der Gränzwerth von r^3 *tang. v*, den wir das reducirte Drehungsmoment nennen wollen, ist die Tangente des Ablenkungswinkels, um welchen die bewegliche Nadel durch den festen Stab abgelenkt wird, wenn die Mitte der Nadel von der Mitte des Stabes um die Längeneinheit, für welche wir hier das Meter nehmen, von einander entfernt sind, vorausgesetzt, daß die Dimensionen der beiden Magnete im Vergleich zu dieser Entfernung klein genug sind, wie es bei den oben betrachteten Weber'schen Ablenkungsversuchen in der That der Fall war.

Bei der Fig. 54 dargestellten gegenseitigen Lage ist das reducirte Drehungsmoment, also die Tangente des Winkels, um welchen die Nadel durch den um 1 Meter entfernten Stab abgelenkt wird, 0,01753; bei der, Fig. 55, dargestellten gegenseitigen Lage aber nur 0,00876; im ersten Falle ist der entsprechende Ablenkungswinkel 1° 0′ 43″, im letzteren 30′ 21″.

Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus nach absolutem Maaß. 23 Nachdem wir die Gesetze, welchen die Wirkung der Magnete in die Ferne folgt, kennen gelernt haben, können wir auch zu den Untersuchungen über die Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus zurückkehren.

Die Gesammtkraft, welche auf eine in horizontaler Ebene schwingende Magnetnadel wirkt, läßt sich aus den beobachteten Schwingungszeiten nach den Gesetzen der Pendelbewegung berechnen. Wie wir im ersten Bande gesehen haben, ist für ein einfaches Pendel

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

wo die Buchstaben t, π, l und g die dort angegebene Bedeutung haben.

Wenn man mit einem physischen, also zusammengesetzten Pendel zu thun hat, so muß für l die Länge des einfachen Pendels gesetzt werden, welches mit dem fraglichen physischen gleiche Schwingungsdauer hat. Wie Bd. I. S. 254 gezeigt wurde, findet man aber diese Länge, d. h. die Entfernung des Auf-

hängepunktes vom Schwingungspunkte des physischen Pendels, wenn man die Summe der Trägheitsmomente aller materiellen Punkte durch die Summe der statischen Momente der Kräfte dividirt, welche auf die einzelnen Punkte wirken. Bezeichnen wir die Summe der Trägheitsmomente mit K, die jener statischen Momente mit C, so ist

$$t = \pi \sqrt{\frac{K}{Cg}}.$$

Um die Sache recht anschaulich zu machen, wollen wir die Bedeutung der Buchstaben K und C noch von einer anderen Seite betrachten. Die Summe K der Trägheitsmomente der einzelnen materiellen Theilchen, das Trägheitsmoment des Körpers, ist in der That nichts anders als die träge Masse, die in der Entfernung 1 vom Drehpunkte concentrirt sein müßte, um der Gesammtheit der beschleunigenden Kräfte, welche die Oscillationen bewirken, denselben Widerstand entgegenzusetzen, wie es die träge Masse des Körpers wirklich thut. Die Summe C der statischen Momente ist aber ebenso die Kraft, die in der Entfernung 1 vom Drehpunkte angreifen müßte, um denselben Effect hervorzubringen, wie die Gesammtheit aller Kräfte, die in verschiedenen Entfernungen angreifen.

Wenden wir nun unsere Formel auf einen Magnetstab an, welcher in horizontaler Ebene um eine verticale Axe unter dem Einflusse des Erdmagnetismus oscillirt, so ergiebt sich t aus der Beobachtung und K läßt sich nach Principien der Mechanik berechnen, wenn der Stab eine einfache reguläre Gestalt hat; man kann demnach C nach jener Formel bestimmen, man findet

$$C = \frac{\pi^2 K}{g \cdot t^2}.$$

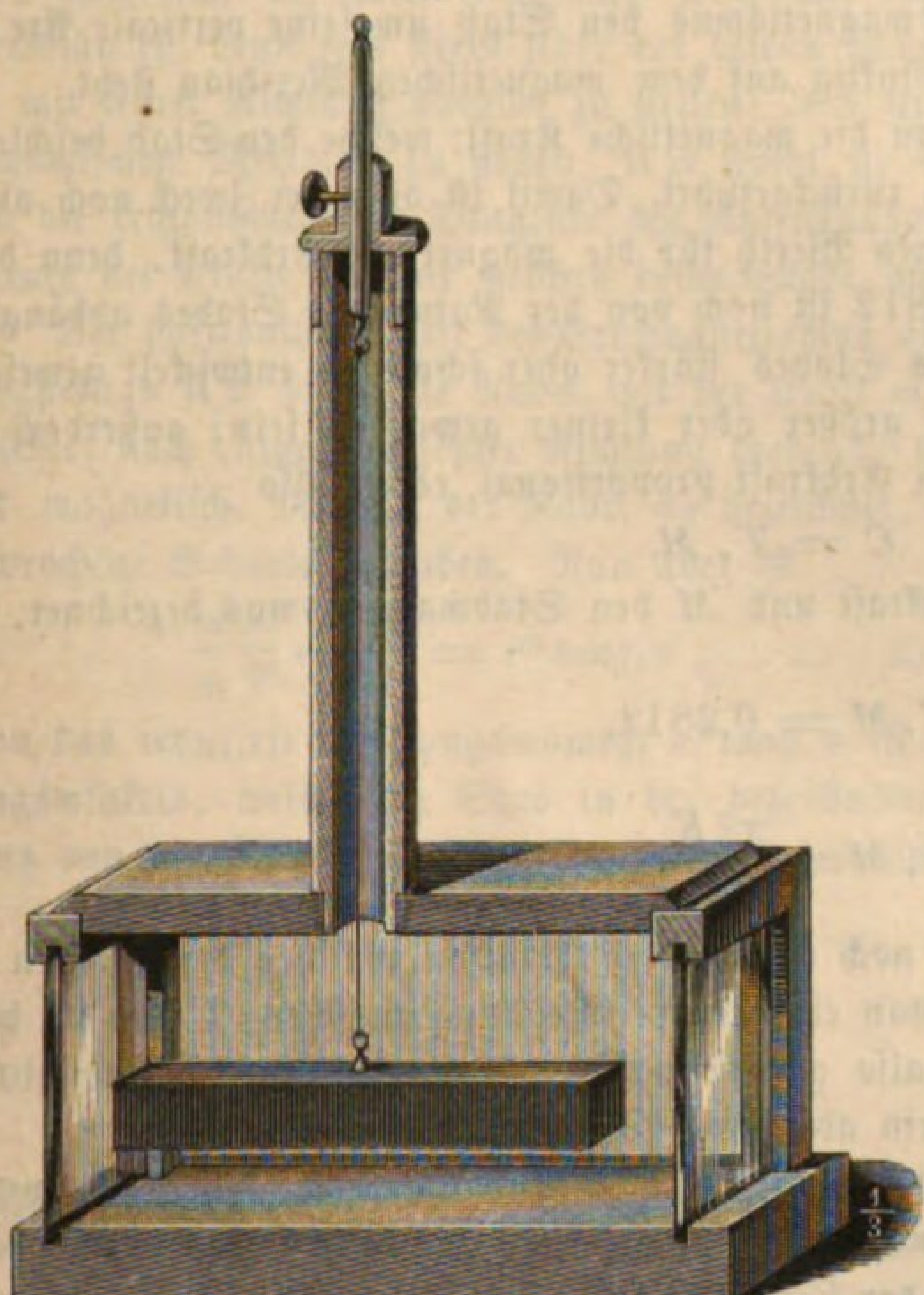
Gauß wandte zu den Schwingungsversuchen, die er zur Bestimmung der erdmagnetischen Kraft anstellte, das schon beschriebene Magnetometer an, bei welchem Apparate der Magnetstab in einem messingenen Schiffchen liegt, welches mitschwingt. Dadurch ist nun eine genaue Berechnung des Trägheitsmomentes K unmöglich, und es ist deshalb nöthig, diese Größe durch den Versuch auszumitteln, was nach den in §. 114 (S. 254 des ersten Bandes) entwickelten Grundsätzen leicht auszuführen ist.

W. Weber hat einen ganz einfachen Apparat angegeben, um nach der Gauß'schen Methode die Intensität der erdmagnetischen Kraft zu bestimmen, der besonders Reisenden und Solchen zu empfehlen ist, die ein Magnetometer mit allem Zugehör nicht anschaffen und aufstellen können. Der Magnetstab, den Weber anwendet, ist ein möglichst genau gearbeitetes Parallelopiped, von quadratischem oder fast quadratischem Querschnitt. In dem Mittelpunkte der oberen Fläche befindet sich ein Loch, welches mit einem Schraubengewinde versehen ist, damit man ein Messingöhr einschrauben kann, wie Fig. 56 zeigt.

Das Trägheitsmoment dieses Messingöhrs ist so gering, daß es ohne weiteres gegen das Trägheitsmoment des Magnetstabes selbst, welches aus dessen Dimensionen und seinem Gewichte leicht berechnet werden kann (Bd. I. S.

250), vernachlässigt werden darf. Um störende Luftströmungen abzuhalten, wird der Magnetstab an einem Bündel ungedrehter Seidenfäden in einem mit Glaswänden versehenen Kästchen aufgehängt, wie unsere Figur zeigt. Der hölzerne Deckel mit dem hölzernen Rohr, in welchem der Faden herabhängt, kann abgehoben werden.

Fig. 56.



Der Magnetstab, wie ihn Weber anwandte, war 10,1 Centimeter lang, 1,75 Centimeter breit und wog 142 Gramm (es ist bequem, wenn er genau 10 Centimeter lang ist). Wie uns die Mechanik lehrt, findet man das Trägheitsmoment eines vierseitigen Prismas in Beziehung auf eine feste Axe, welche durch den Schwerpunkt des Prismas geht und der einen Kante parallel ist, nach der Formel $K = \frac{a^2 + b^2}{12} p$, wo a und b die Längen derjenigen Kanten bezeichnen, welche nicht mit der Umdrehungsaxe parallel sind; p ist das Gewicht des Stabes. Für Weber's Magnet war $a = 10,1$ Centimeter, $b = 1,75$ Centimeter, $p = 142$ Gramm, es ist demnach

$$K = \frac{10,1^2 + 1,75^2}{12} 142 = 1243,36$$

wenn man das Gramm zur Gewichtseinheit nimmt. Der fragliche Magnetstab setzt also einer jeden beschleunigenden Kraft, die ihn um seine verticale Axe zu drehen strebt, einen eben so großen Widerstand entgegen, wie eine träge Masse von 1243,36 Grammen, die von der Drehungsaxe um 1 Centimeter entfernt ist.

Die Dauer einer Oscillation, also t, war für den Stab 6,67 Secunden, es ergiebt sich demnach

$$C = \frac{1243,36 \, . \, \pi^2}{g \, . \, 6,67^2} = 0,2812,$$

wenn man für π^2 seinen Werth 9,8696 und für g seinen Werth 980,88 (Centimeter) setzt.

Die Zahl 0,2812 drückt die Menge der Gramme aus, deren Druck unter der Wirkung der Schwere auf einen 1 Centimeter langen Hebel gleich ist der Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus den Stab um seine verticale Axe zu drehen strebt, wenn er rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht.

Auf diese Weise ist schon die magnetische Kraft, welche den Stab beschleunigt, auf ein bekanntes Maß zurückgeführt. Damit ist aber der Zweck noch nicht erreicht, man hat noch keinen Werth für die magnetische Erdkraft, denn das Drehungsmoment $C = 0{,}2812$ ist noch von der Natur des Stabes abhängig. Wäre der Magnetismus des Stabes stärker oder schwächer entwickelt gewesen, so würde der Werth von C größer oder kleiner geworden sein; außerdem ist aber auch C der magnetischen Erdkraft proportional, es ist also

$$C = T \,.\, M,$$

wenn T die magnetische Erdkraft und M den Stabmagnetismus bezeichnet, es ist also für unser Beispiel

$$T \,.\, M = 0{,}2812.$$

Allgemein ausgedrückt ist

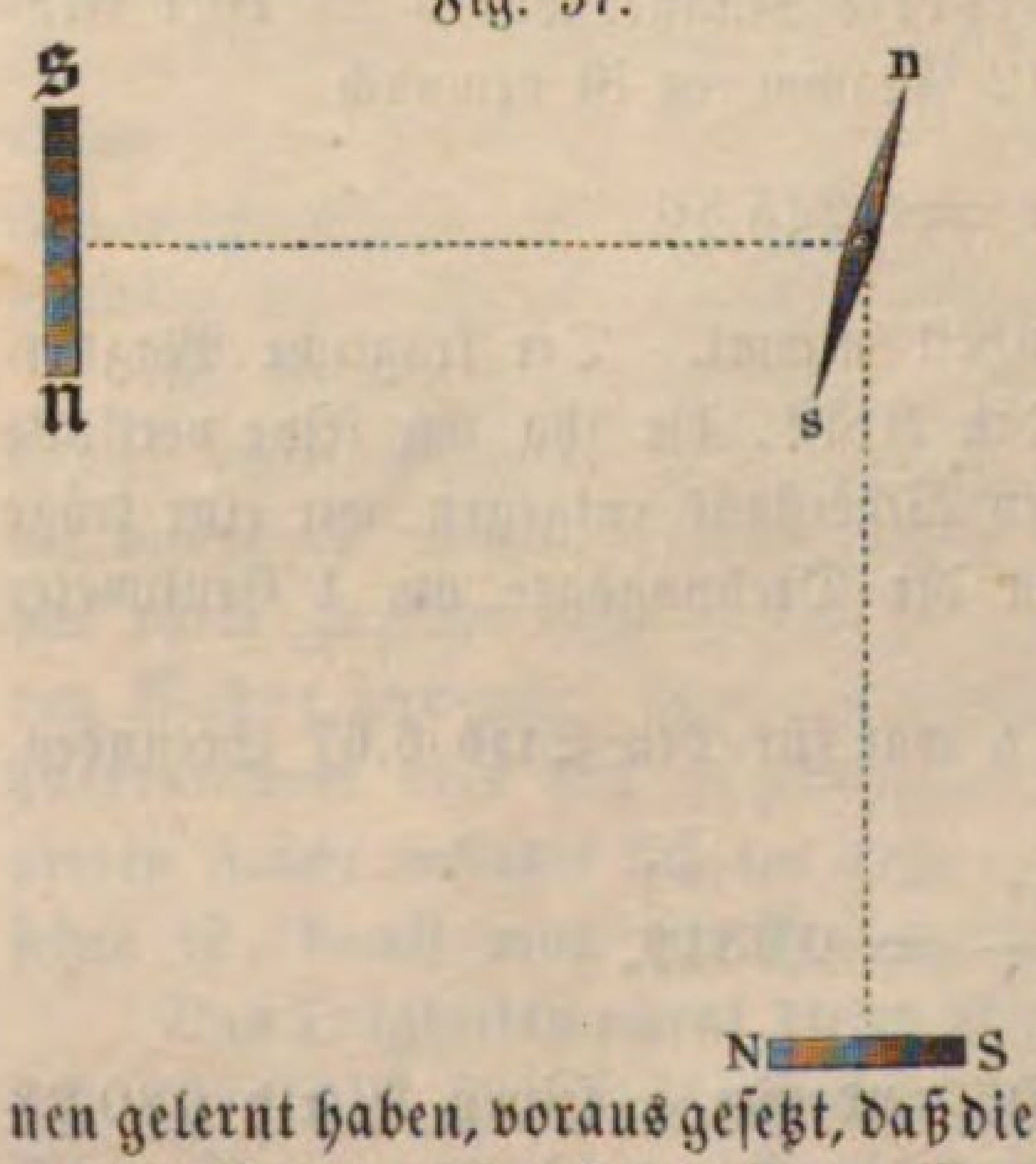
$$T \,.\, M = \frac{\pi^2 K}{g\, t^2} \quad \ldots . \ 1)$$

Wenn es nun gelingt, noch eine andere Relation zwischen den Größen T und M zu finden, wonach man eine zweite Gleichung zwischen T und M bilden kann, so läßt sich M, also gewissermaßen die magnetische Individualität des Stabes eliminiren und ein absoluten Werth für T finden.

Eine solche weitere Beziehung zwischen M und T ergiebt sich aber, wenn wir die Wirkung des Erdmagnetismus auf eine bewegliche Nadel mit derjenigen vergleichen, welche der horizontale Magnetstab auf dieselbe hervorzubringen im Stande ist.

Den horizontalen Theil der Wirkung, welchen der Erdmagnetismus auf eine horizontale Magnetnadel $n\,s$, Fig. 57, ausübt, können wir uns ersetzt denken durch die Wirkung eines Magnetstabes **NS**, der parallel dem magnetischen Meridian mit der Nadel in gleicher Horizontalebene so liegt, daß die Verbindungslinie der Mittelpunkte des Stabes und der Nadel rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht und daß der Abstand dieser Mittelpunkte 1 Meter beträgt.

Fig. 57.



Die Wirkung dieses idealen Magnetstabes auf die Nadel können wir nun vergleichen mit der Wirkung, welche derjenige Magnetstab auf dieselbe hervorbringt, dessen Drehungsmoment wir so eben kennen gelernt haben, vorausgesetzt, daß dieser Magnetstab unter gleichen Verhältnissen auf die Nadel wirkt wie der ideale Magnet, was der Fall ist, wenn sein gleichfalls

1 Meter von der Mitte der Nadel *ns* abstehender Mittelpunkt in dem magnetischen Meridian derselben liegt und seine Axe rechtwinklig zum magnetischen Meridian ist, denn jetzt strebt jeder der beiden Magnete **ns** und *NS* die Nadel mit seiner Richtung parallel zu stellen; *NS* strebt sie rechtwinklig auf den magnetischen Meridian zu stellen, **ns** strebt sie in denselben zurückzuführen, und die trigonometrische Tangente des Ablenkungswinkels giebt uns das Verhältniß der Kräfte an, mit welchen beide Stäbe auf die Nadel wirken.

Der horizontale Theil des Erdmagnetismus oder der denselben vertretende Magnetstab **ns** dreht die Nadel mit der Kraft mT, der Stab *NS* wirkt auf dieselbe, nach entgegengesetzter Richtung drehend, mit der Kraft mM, wenn m das magnetische Moment der Nadel *ns* bezeichnet, M und T aber die so eben besprochene Bedeutung haben. Nun aber ist

$$\frac{mM}{mT} = \frac{M}{T} = r^3 \, tang. v \; \ldots \ldots \; 2)$$

denn das reducirte Drehungsmoment $r^3 \, tang. v$ ist ja die Tangente des Ablenkungswinkels, welche der Stab in der bezeichneten Lage bei 1 Meter Entfernung von der Nadel bewirkt. Aus der Combination der Gleichungen

$$TM = \frac{\pi^2 K}{g t^2}$$

und

$$\frac{M}{T} = r^3 \, tang. v$$

ergiebt sich aber

$$T = \frac{\pi}{t} \sqrt{\frac{K}{g \, r^3 \, tang \, v}}.$$

Suchen wir nun für T einen Zahlenwerth zu erhalten. Für den Magnetstab, mit welchem Weber die schon besprochenen Ablenkungs- und Schwingungsversuche gemacht hat, ergab sich, wie wir wissen,

$$T.M = 0{,}2812 \; \ldots \ldots \ldots \; a)$$

und das reducirte Drehungsmoment

$$r^3 \, tang. v = 0{,}00876,$$

folglich auch

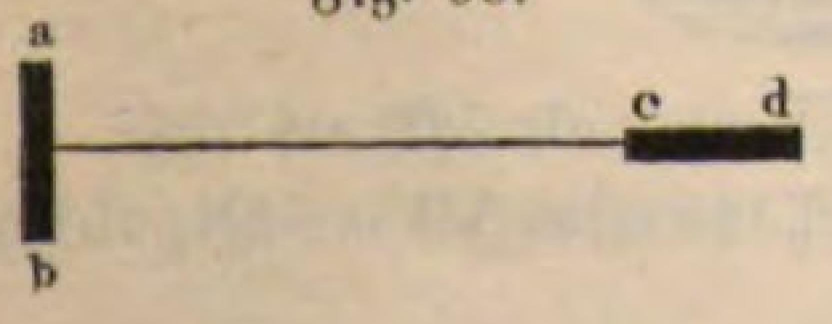
$$\frac{M}{T} = 0{,}00876 \; \ldots \ldots \ldots \; b)$$

Aus der Combination der beiden Gleichungen a) und b) ergiebt sich aber

$$T = 5{,}65.$$

Wir haben jetzt für T einen numerischen Werth gefunden, und nun kommt es darauf an, die Einheit genauer zu definiren, auf welche sich dieser Zahlenwerth bezieht.

Fig. 58.



Wenn in einem Magnetstabe *ab*, Fig. 58, die Einheit des freien Magnetismus entwickelt ist, so wird er einen gleich stark magnetischen Stab *cd*, welcher sich auf dem in der Mitte

von ab errichteten Perpendikel befindet und dessen Mittelpunkt 1 Meter weit vom Mittelpunkte des Stabes ab entfernt ist, aus der in der Figur 58 angedeuteten Stellung mit einer Kraft zu drehen streben, welche gleich ist dem statischen Moment von 1 Gramm, welches an einem Hebelarm von 1 Centimeter angreift.

Wenn die Intensität des horizontalen Theils des Erdmagnetismus $T = 5{,}65$ ist, so heißt das, der Erdmagnetismus wird einen Magnetstab, welcher rechtwinklig zum magnetischen Meridian steht, und in welchem die Einheit des freien Magnetismus entwickelt ist, mit einer Kraft drehen, welche gleich ist dem statischen Momente von 5,65 Gramm, den Hebelarm 1 Centimeter angreifend.

Wir haben oben gesehen, daß für den Weber'schen Versuchsstab $MT = 0{,}2812$ ist. Da nun $T = 5{,}65$, so ist für diesen Stab $M = 0{,}0495$; der in demselben entwickelte freie Magnetismus beträgt also $^{495}/_{10000}$ von demjenigen, welchen wir zur Einheit der magnetischen Kraft genommen haben.

Die eben gemachte Bestimmung der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus bezieht sich auf Göttingen. Für andere Orte wird man andere Werthe von T erhalten und zwar wächst die Stärke des horizontalen Theils des Erdmagnetismus um so mehr, je mehr man sich dem magnetischen Aequator nähert.

Gauß und Weber legten bei der numerischen Bestimmung der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus nach absolutem Maße andere Einheiten zu Grunde, als es eben, des leichteren Verständnisses wegen, geschehen ist. Zunächst nehmen sie das Milligramm zur Gewichtseinheit und nehmen den Angriffspunkt 1 Millimeter weit von der Drehungsaxe, ferner beziehen sie das reducirte Drehungsmoment $r^3 \, tang. v$ nicht auf die Entfernung von 1 Meter, ter, sondern auf die von 1 Millimeter. Dadurch wird der Werth von T $1000\sqrt{10}$mal kleiner, es ergiebt sich alsdann für Göttingen nach der Formel

$$T = \frac{\pi}{t}\sqrt{\frac{K}{gr^3 \, tang. v}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

der Werth

$$T = 0{,}0179.$$

Nun aber ist die Intensität der Schwerkraft nicht für alle Orte der Erde dieselbe, oder, mit anderen Worten, der in obiger Gleichung vorkommende Werth von g ist selbst eine variable Größe. Um nun T auf ein durchaus absolutes Maß zurückzuführen, muß man statt der Schwere eine andere Krafteinheit substituiren, und zwar nehmen jene Physiker als ein Einheit der Kraft diejenige an, unter deren Einfluß der Fallraum der ersten Secunde nicht g, sondern 1 Millimeter wäre. Um den Werth von T auf diese Krafteinheit zu reduciren, hat man nur die Gleichung 1) noch mit $\sqrt{g}$ zu multipliciren; es ergiebt sich alsdann

$$T = \frac{\pi}{t}\sqrt{\frac{K}{r^3 \, tang. v}}$$

Multiplicirt man den Werth $T = 0{,}0179$ mit $\sqrt{g}$ ($g = 9808$ Millimeter für Göttingen) so ergiebt sich nach absolutem Maß für Göttingen

$$T = 1{,}774.$$

Nach derselben Einheit war die horizontale Intensität des Erdmagnetismus im Jahre 1845 für

München . . . 1,94
Genf . . . . 1,98.

Die bisher besprochene von Weber vereinfachte Beobachtungsmethode zur Bestimmung der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus giebt Resultate, welche bis auf die Größe der täglichen Variationen genau sind.

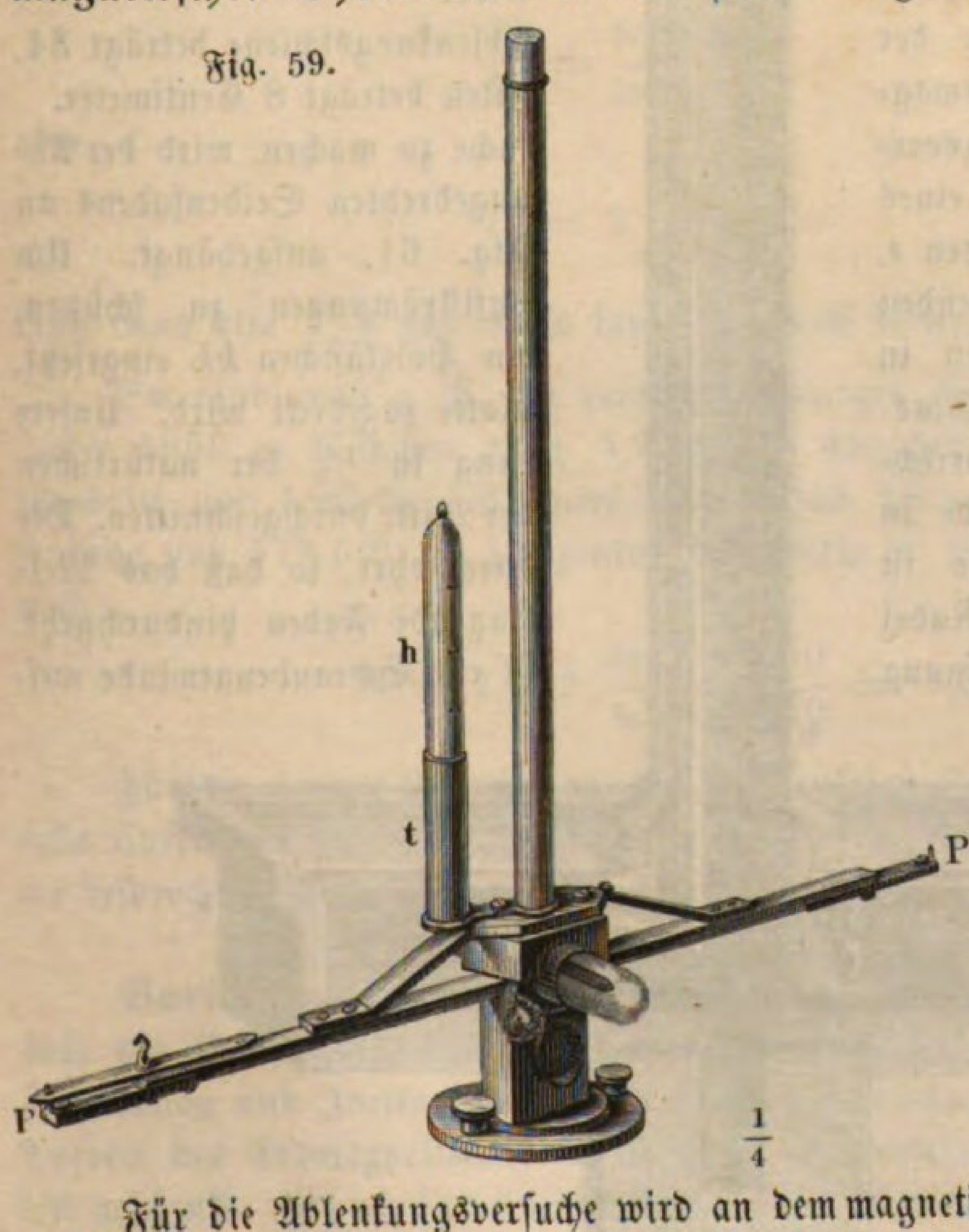
Der oben ermittelte Werth von T' ist nicht der Werth der totalen Intensität der magnetischen Erdkraft, sondern nur der ihrer horizontalen Composante. Die Intensität der totalen magnetischen Erdkraft ist

$$J = \frac{T}{cos. i},$$

wo für i der Inclinationswinkel zu setzen ist.

Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus mit dem magnetischen Theodolit. Um mit seinem magnetischen Theodolit auch die horizontale Intensität des Erdmagnetismus bestimmen zu können, hat Lamont die entsprechenden Vorrichtungen an demselben angebracht. 24

Fig. 59.

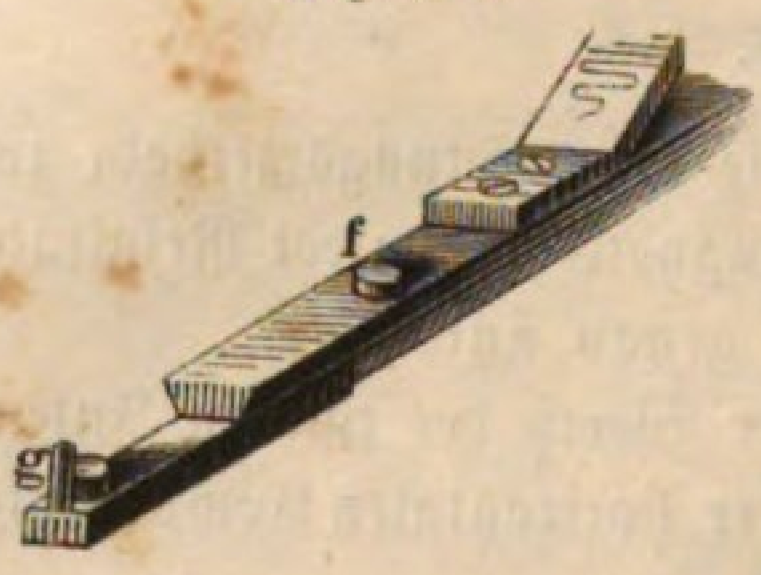


Nach den im vorigen Paragraphen entwickelten Principien sind zur Bestimmung der absoluten Intensität zwei gesonderte Beobachtungen, nämlich 1) die Beobachtung der Ablenkung, welche ein Magnetstab an einer Declinationsnadel bewirkt, und 2) die Beobachtung der Schwingungen, welche das Ablenkungsstäbchen unter dem Einfluß des Erdmagnetismus macht.

Für die Ablenkungsversuche wird an dem magnetischen Theodolit eine Ablenkungsschiene PP aufgesetzt, wie man es Fig. 59 sieht, und nachdem das Instrument

so eingestellt worden ist, daß die Axe des Fernrohrs normal steht auf der Ebene des Magnetspiegels, und man für diese Stellung den Nonius abgelesen hat, wird nun der Ablenkungsmagnet an dem einen Ende der Schiene aufgelegt. — Damit er immer genau auf dieselbe Stelle kommt, ist auf der Schiene, wie man Fig. 60 sieht, welche das eine Ende der Schiene in größerem Maßstabe darstellt, ein Knopf *f* und am Ende derselben eine kleine Feder *g* befestigt, welche genau in zwei Löcher des Magnetstäbchens passen.

Fig. 60.



Hat man die dieser Stellung des Magneten entsprechende Ablenkung abgelesen, so wird der Ablenkungsmagnet so umgelegt, daß sein Nordpol dahin kommt, wo eben sein Südpol lag, und umgekehrt, und abermals die nun nach entgegengesetzter Seite gerichtete Ablenkung abgelesen. Ist dies geschehen, so wird der Ablenkungsmagnet auf das entgegengesetzte Ende der Ablenkungsschiene gebracht und für die dort möglichen beiden Stellungen des Ablenkungsmagneten ebenfalls die entsprechende Ablenkung abgelesen. So erhält man für die Ablenkung vier Werthe, aus denen das Mittel genommen und in Rechnung gebracht wird.

Fig. 61.



Die Gesammtlänge der Ablenkungsschiene beträgt 34, die Länge des Ablenkungsmagneten beträgt 8 Centimeter.

Um die Schwingungsversuche zu machen, wird der Ablenkungsmagnet mittelst eines ungedrehten Seidenfadens an einem messingenen Säulchen *s*, Fig. 61, aufgehängt. Um den Magneten vor störenden Luftströmungen zu schützen, wird das Messingsäulchen in ein Holzkästchen *kk* eingesetzt, welches oben mit einer Glasplatte zugedeckt wird. Unsere Figur zeigt die ganze Vorrichtung in $1/2$ der natürlichen Größe, und zwar gerade in der Mitte durchgeschnitten. Die Mitte dieser Glasplatte ist durchbohrt, so daß das Messingstäbchen und der die Nadel tragende Faden hindurchgeht. Um den Rand dieser Oeffnung ist ein Schraubengewinde auf-

gekittet, auf welches die Messinghülse h aufgeschraubt wird, durch welche auch der Seidenfaden vor störendem Luftzug geschützt ist.

Eine Combination der Ablenkungs- und Schwingungsversuche zur Berechnung der Intensität nach absolutem Maß wandte jedoch Lamont auf Reisen nie an, sondern er machte entweder nur Ablenkungs- oder nur Schwingungsbeobachtungen und berechnete die Intensität durch Vergleichung mit den entsprechenden in dem Münchner Observatorium angestellten Beobachtungen.

Sind T und v die zusammengehörigen Werthe der horizontalen Intensität und der Ablenkung, so haben wir

$$\frac{M}{T} = r^3 \, tang. v \; .\;.\;.\;.\; 1),$$

wenn M die Stärke des Stabmagnetismus bezeichnet. Für einen anderen Ort, dessen horizontale Intensität T' ist, sei die entsprechende durch dasselbe Magnetstäbchen an demselben Instrument bewirkte Ablenkung v', so ist

$$\frac{M}{T'} = r^3 \, tang. v' \; .\;.\;.\;.\; 2),$$

und wenn man die Gleichung 2) in die Gleichung 1) dividirt,

$$\frac{T'}{T} = \frac{tang. v}{tang. v'},$$

oder

$$T' = T \frac{tang. v}{tang. v'};$$

kennt man also T, v und v', so kann man nach dieser Formel T' berechnen.

So fand man z. B. die zusammengehörigen Werthe von T und v im Jahre 1850 zu München gleich 1,952 und 49° 50'. Mit demselben Reisetheodolit und demselben Magnetstäbchen ergab sich zu Aschaffenburg eine Ablenkung von 51° 50', die horizontale Intensität T' für Aschaffenburg ist demnach

$$T' = 1,952 \, . \frac{tang. 49^0 50'}{tang. 51^0 50'} = 1,859.$$

Für die genaue Berechnung der horizontalen Intensität sind nun gleichfalls Correctionen wegen der Temperatur u. s. w. nöthig, welche hier nicht weiter besprochen werden können.

Variationen der Intensität des Erdmagnetismus. Die Intensität des Erdmagnetismus hat ihre täglichen Variationen gerade so wie die 25
Declination und Inclination, erst in neuerer Zeit aber hat man diesem für die Theorie des Erdmagnetismus so wichtigen Elemente eine größere Aufmerksamkeit geschenkt. Gauß hat einen Apparat, das Bifilarmagnetometer, construirt, durch welchen die geringste Aenderung der Intensität des Erdmagnetis-

mus nachgewiesen und dem Auge ganz in der Weise sichtbar gemacht wird, wie die Variationen der Declination durch das gewöhnliche Magnetometer.

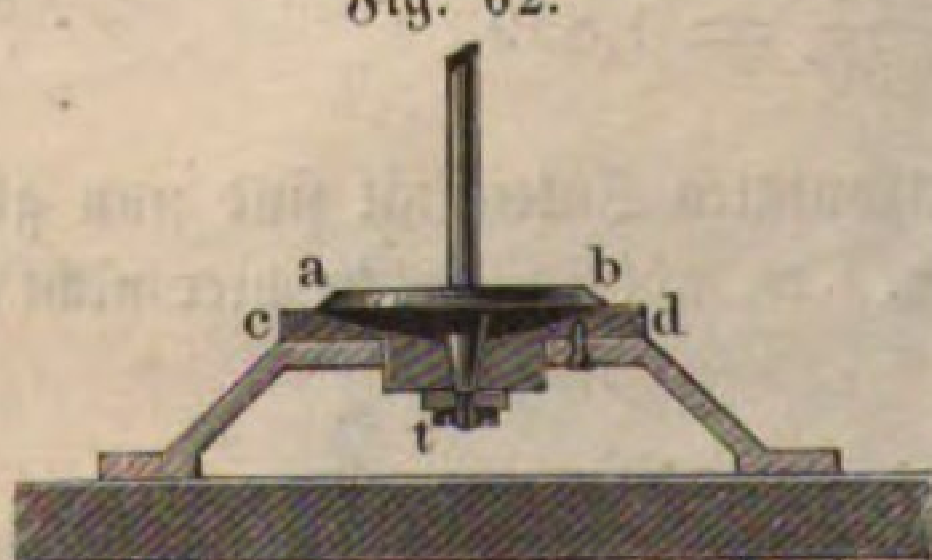
Wenn es uns auch zu weit führen würde, die Einrichtung und den Gebrauch des Bifilarmagnetometers vollständig auseinander zu setzen, so müssen wir doch wenigstens das Princip kennen lernen, auf welchem es beruht.

Wir haben oben eine Methode kennen gelernt, mittelst deren man die Intensität des Erdmagnetismus mit außerordentlicher Genauigkeit ermitteln kann, dieselbe ist aber unbrauchbar, sobald es sich darum handelt, die täglichen Variationen der Intensität zu beobachten. Jene Methode zur Bestimmung der magnetischen Intensität beruht nämlich auf der Verbindung mehrerer Operationen, welche sämmtlich eine nicht ganz kurze Zeit in Anspruch nehmen, während welcher sich die Intensität ändern kann; man erhält auf diese Weise also nur Mittelwerthe der Intensität, es bleibt ganz verborgen, ob und welche Variationen sie während dieser Zeit erlitten hat.

Die Schwingungsdauer eines Magnetstabes, deren genaue Ermittelung namentlich eine etwas längere Zeit in Anspruch nimmt, dient nur dazu, mittelbarer Weise das Drehungsmoment zu bestimmen, welches die erdmagnetische Kraft dem Stabe ertheilt, wenn er sich nicht im magnetischen Meridian befindet. Mit Hülfe des Gauß'schen Bifilarmagnetometers kann man dieses Drehungsmoment auf directem Wege ohne Schwingungsbeobachtungen scharf bestimmen und seine Veränderungen sicher und schnell messen.

Wenn ein Körper, welcher nur durch die Schwerkraft sollicitirt wird, an zwei Fäden aufgehängt ist, so befindet er sich nur dann im Gleichgewichte, wenn die beiden Fäden in einer Ebene liegen, und wenn der Schwerpunkt des Körpers sich in derselben Ebene zwischen der verlängerten Richtung der beiden Fäden befindet. Sobald man aber den Körper aus dieser Gleichgewichtslage herausdreht, so werden die Fäden gleichsam spiralförmig gewunden, wodurch in ihnen ein Bestreben entsteht, den Körper in seine Gleichgewichtslage zurückzuführen. Die Größe dieser richtenden Kraft hängt von der Länge der Fäden, von ihrer Entfernung und von der Größe des Gewichtes ab, welches sie zu tragen haben.

Fig. 62.

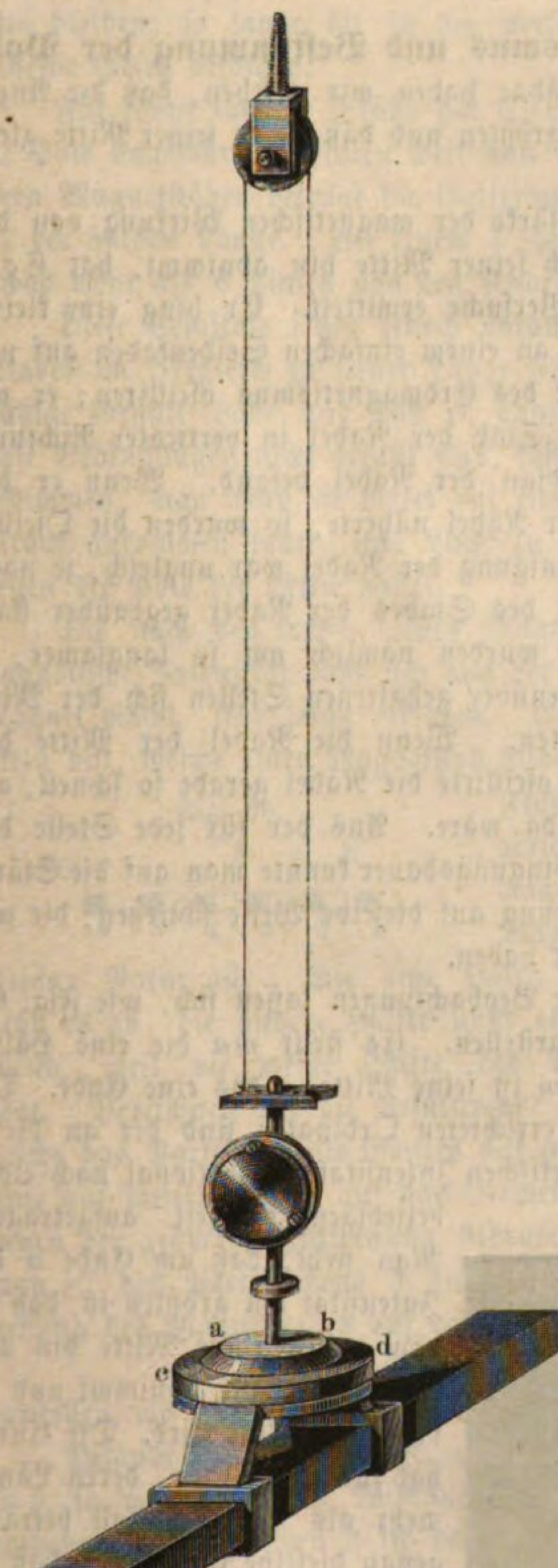


$\frac{1}{2} - \frac{1}{3}$

Das Wesentliche der Einrichtung eines Bifilarmagnetometers ist aus Fig. 62 und 63 zu ersehen. Von einer Rolle, Fig. 63, deren Scheere in die Decke des Beobachtungslocales eingeschraubt wird, hängen die beiden Drähte herab, welche das Magnetometer tragen. Das Stäbchen, welches den Spiegel trägt, endigt unten in einer kreisförmigen Scheibe *ab*; an der unteren Fläche dieser Scheibe sitzt ein konischer Zapfen, um welchen die Metallscheibe *cd* beliebig gedreht und durch Anziehen der Schraubenmutter *t* in jeder beliebigen Stellung festgestellt werden kann, wie durch Fig. 62 wohl

verständlich sein wird. An der Scheibe *cd* ist dann das Schiffchen mit dem Magnetstab in unveränderlicher Weise befestigt.

Fig. 63.



$\frac{1}{2} - \frac{1}{3}$

Diese Vorrichtung, welche es möglich macht, den Magnetstab in seiner Horizontalebene beliebig zu drehen, ohne die gegenseitige Lage der Aufhängefäden zu ändern, wird der **Torsionskreis** genannt.

Während nun die Aufhängefäden den Apparat stets so zu stellen streben, daß sie ohne Torsion in einer und derselben Verticalebene liegen, äußert der Erdmagnetismus ein Bestreben, die Axe des Magnetstabes in den magnetischen Meridian zu stellen; es wird sich also in der That die Axe des Magnetstabes zwischen dem magnetischen Meridian und derjenigen Linie einstellen, in welche der Stab durch die Torsionskraft der Fäden gebracht werden würde, wenn er nicht magnetisch wäre. Mit Hülfe des Torsionskreises kann man es leicht dahin bringen, daß die oben bezeichnete Zwischenlage einen beliebigen Winkel mit dem magnetischen Meridian macht, und zur Beobachtung der Variationen der Intensität wird der Torsionskreis so gedreht, daß das Gleichgewicht stattfindet, wenn die Axe des Magnetstabes nahezu rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht.

Es ist klar, daß unter diesen Umständen die geringste Aenderung in der Intensität des Erdmagnetismus die Lage des Magnetstabes ändern müsse; wenn sie stärker wird, so nähert er sich dem magnetischen Meridian, wenn sie abnimmt, so entfernt er sich von demselben. Da nun die Intensität des Erdmagnetismus fortwährend variirt, so schwankt der Magnetstab fortwährend in

derselben Weise wie der Magnetstab eines einfachen Magnetometers; die Veränderungen in der Lage des Stabes werden auf dieselbe Weise beobachtet wie beim Magnetometer.

26 **Vertheilung des Magnetismus und Bestimmung der Pole.** Schon beim Eintauchen in Eisenfeilspähne haben wir gesehen, daß die Anziehung an den Enden eines Stabes am größten und daß sie in seiner Mitte gleich Null ist.

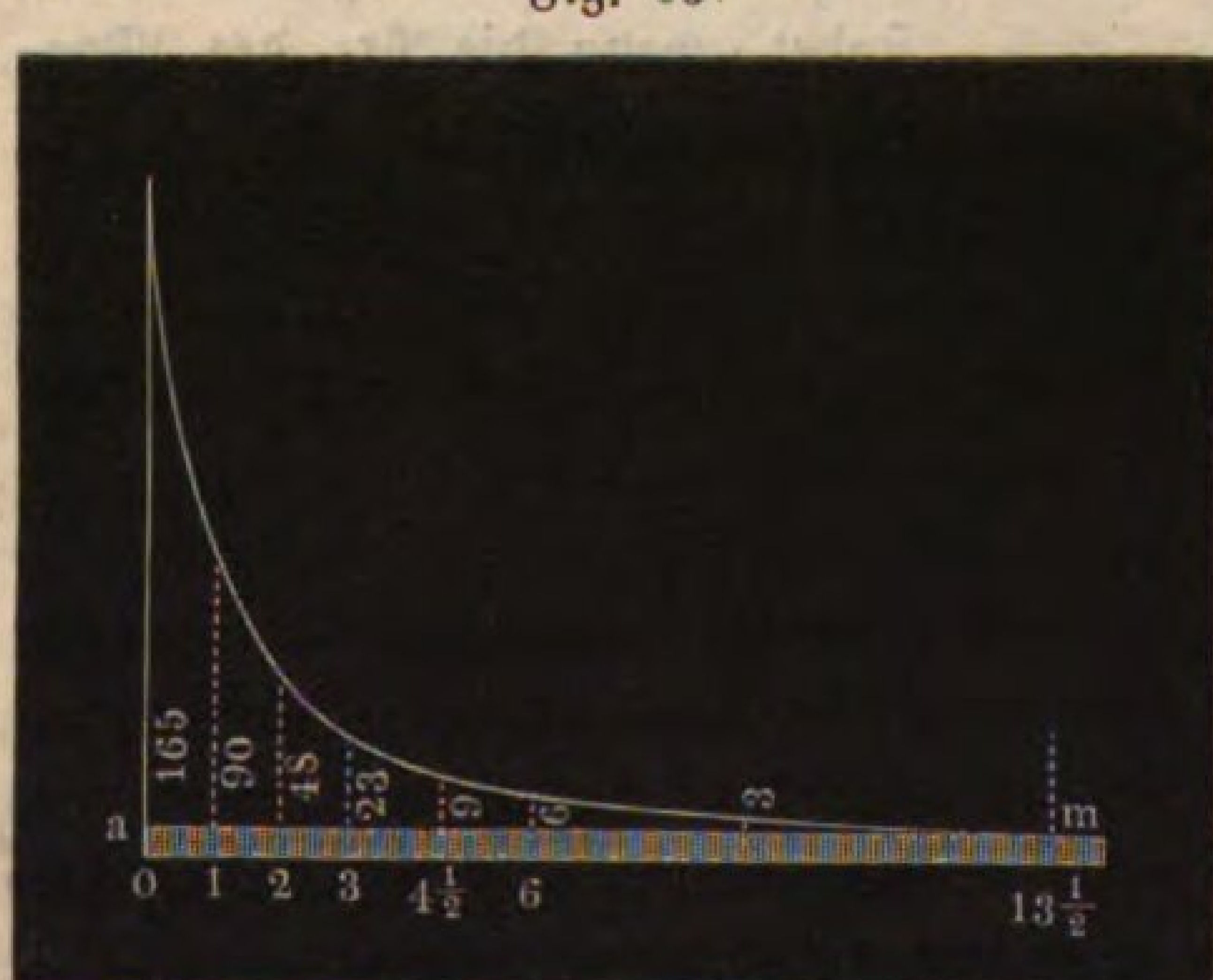
Das Gesetz, nach welchem die Stärke der magnetischen Wirkung von den Enden eines magnetischen Stabes nach seiner Mitte hin abnimmt, hat Coulomb durch eine Reihe sorgfältiger Versuche ermittelt. Er hing eine kleine, ungefähr 7 Linien lange Probirnadel an einem einfachen Seidenfaden auf und ließ sie zuerst nur unter dem Einflusse des Erdmagnetismus oscilliren; er näherte alsdann den zu untersuchenden Stab der Nadel in verticaler Richtung, so daß er sich im magnetischen Meridian der Nadel befand. Wenn er den Südpol des Stabes dem Nordpole der Nadel näherte, so wurden die Oscillationen beschleunigt, allein die Beschleunigung der Nadel war ungleich, je nachdem verschiedene Stellen des Stabes der Nadel gegenüber standen, die Schwingungen wurden nämlich um so langsamer, je mehr die der Nadel gegenüber gehaltenen Stellen sich der Mitte des Magnetstabes näherten. Wenn die Nadel der Mitte des Stabes gegenüber stand, oscillirte die Nadel gerade so schnell, als ob der Stab gar nicht da wäre. Aus der für jede Stelle des Stabes beobachteten Schwingungsdauer konnte man auf die Stärke ihrer magnetischen Anziehung auf dieselbe Weise schließen, die wir schon oben kennen gelernt haben.

Fig. 64.



Die Resultate seiner Beobachtungen lassen sich, wie Fig. 65 geschehen ist, graphisch darstellen. Es stellt *ma* die eine Hälfte eines Magnetstabes dar, *m* ist seine Mitte, *a* das eine Ende. Die an verschiedenen Stellen errichteten Ordinaten sind der an dieser Stelle beobachteten magnetischen Intensität proportional nach einer beliebigen Einheit aufgetragen. Man sieht, daß am Ende *a* die Intensität am größten ist, daß sie von *a* gegen die Mitte hin anfangs sehr rasch abnimmt und in der Mitte Null wird. Die Curve hat für alle Stäbe, deren Länge mehr als 6 bis 8 Zoll beträgt, genau dieselbe Gestalt, so daß in der Mitte ein mehr oder weniger großer Raum sich befindet, für welchen die Intensität so gut wie Null ist. Es geht daraus her-

Fig. 65.



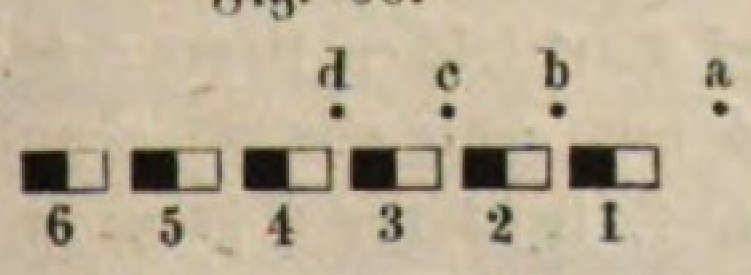
vor, daß die Pole aller Magnetstäbe, deren Länge mehr als 6 bis 8 Zoll beträgt, und welche gleich stark sind, in gleichen Entfernungen von den Enden liegen; denn da ein Pol nichts ist als ein Angriffspunkt der Resultirenden aller einzelnen anziehenden Kräfte, so muß die Lage dieses Poles immer dieselbe bleiben, so lange die in den verschiedenen Punkten angreifenden Kräfte dasselbe Gesetz befolgen.

Für solche längere Stäbe hat Coulomb durch Rechnung gefunden, daß die Pole ungefähr 18 Linien weit von den Enden entfernt liegen. Bei kürzeren Magnetstäben beträgt die Entfernung der Pole von den Enden ungefähr $\frac{1}{3}$ der halben Länge. Bei einem 3 Zoll langen Stabe werden also die Pole etwas mehr als 6 Linien von den Enden entfernt sein.

Diese Resultate setzen jedoch voraus, daß die übrigen Dimensionen des Stabes im Vergleich zu seiner Länge sehr klein sind, daß er eine ganz regelmäßige Gestalt habe und daß er ganz gleichförmig magnetisirt sei. Wenn diese Bedingungen nicht erfüllt sind, lassen sich die Pole nicht mehr theoretisch bestimmen, man muß sie direct mit einer Probirnadel suchen, wenn es etwa darauf ankommen sollte, ihre Lage zu kennen. Bei rautenförmigen Nadeln liegen die Pole der Mitte näher.

Die nach den Enden eines Magnetstabes hin immer stärker werdende magnetische Intensität läßt sich aus der Vorstellung, die man sich von einem Magnet macht, sehr leicht erklären. Es stelle Fig. 66 eine Reihe von Partikeln vor, welche einen Magnetstab bilden. In jedem Partikel sind die beiden Fluida getrennt und auf dieselbe Weise gerichtet. Es befinde sich nun in *a* ein magnetisches Element, welches mit dem Magnetismus der schwarzen Stellen von gleicher Natur ist. Die eine Hälfte des mit 1 bezeichneten Partikelchens zieht es an, die andere Hälfte stößt es ab, die Anziehung ist aber vorherrschend, weil die weiße Hälfte des Partikelchens 1 dem Punkte *a* näher liegt. Bezeichnen wir die Resultirende der beiden Kräfte, also die Anziehung, welche das Partikel 1 als Ganzes auf *a* ausübt, mit *r*. Das Partikel 2 wirkt ganz auf dieselbe Weise auf das Element in *a*, nur ist seine Totalwirkung *r'* wegen der größeren Entfernung bedeutend kleiner. Noch kleiner ist die Wirkung *r''* des Partikelchens 3 auf das Element in *a* u. s. w. Die Totalanziehung des Magnetstabes auf das Element *a* läßt sich also durch die Summe

Fig. 66.



$$S = r + r' + r'' + r''' + \text{u. s. w.}$$

darstellen, wo jedes folgende Glied immer kleiner ist als das vorhergehende.

Befände sich das Element, auf welches der Stab wirkt, nicht in *a*, sondern in *b*, so würde sich die Wirkung der beiden Partikelchen 1 und 2 offenbar aufheben, das Theilchen 3 ist das erste, dessen Wirkung in Betracht zu ziehen ist; es ist aber von *b* so weit entfernt, wie 2 von *a*; die Kraft, mit welcher es das Element in *b* anzieht, ist also ungefähr gleich *r'*, kurz, die Totalwirkung des Stabes auf *b* ist

$$S' = r' + r'' + r''' + \text{u. s. w.}$$

Daß S' schon bedeutend kleiner sein muß als S, ergiebt sich daraus, daß man den Werth von S' erhält, wenn man von dem Werthe von S das größte Glied der Reihe, nämlich r, wegnimmt.

Befände sich das magnetische Element, auf welches der Stab wirkt, in c, so würden sich die Wirkungen von 1 und 4, von 2 und 3 aufheben. Das Theilchen 5 ist also gewissermaßen das nächste, welches auf c wirkt, und seine Wirkung läßt sich durch r'' ausdrücken; den Totaleffect des Stabes auf r aber drückt die Reihe

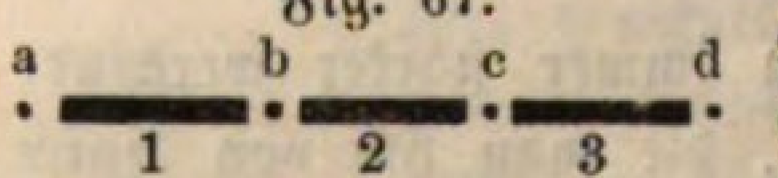
$$S'' = r'' + r''' + \text{u. s. w.}$$

aus, welche wieder bedeutend kleiner ist als S'. In der Weise kann man nun fortschließen und findet auch leicht, daß die Wirkung in der Mitte des Stabes gleich Null sein müsse.

Van Rees hat untersucht, ob wohl durch die ganze Länge des Magnetstabes hindurch die magnetische Polarität der einzelnen Partikelchen gleich stark, oder ob sie in der Mitte des Stabes oder an seinen Enden am stärksten entwickelt ist. In etwas veränderter Form ist seine Schlußweise folgende:

Sind 1, 2, 3, Fig. 67, eine Reihe magnetischer Partikelchen, so kann man sich die Wirkung, welche jedes einzelne in der Ferne hervorbringt, daher rührend denken, daß eine bestimmte Menge der beiden magnetischen Flüssigkeiten gerade an den entgegengesetzten Endpunkten eines jeden Partikelchens angehäuft sei. Statt dessen kann man sich aber auch die entsprechenden Mengen der magnetischen Fluida immer in den Punkten vereinigt denken, welche in der Mitte zwischen zwei Partikelchen liegen; es wären also gewissermaßen a und b die Pole von 1, b und c die von 2, c und d die von 3. In a wäre der Nordmagnetismus von 1, in d der Südmagnetismus von 3; in b fällt der Südmagnetismus von 1 und der Nordmagnetismus von 2 zusammen. Der Nordmagnetismus von 3 fällt mit dem Südmagnetismus von 2 auf den Punkt c.

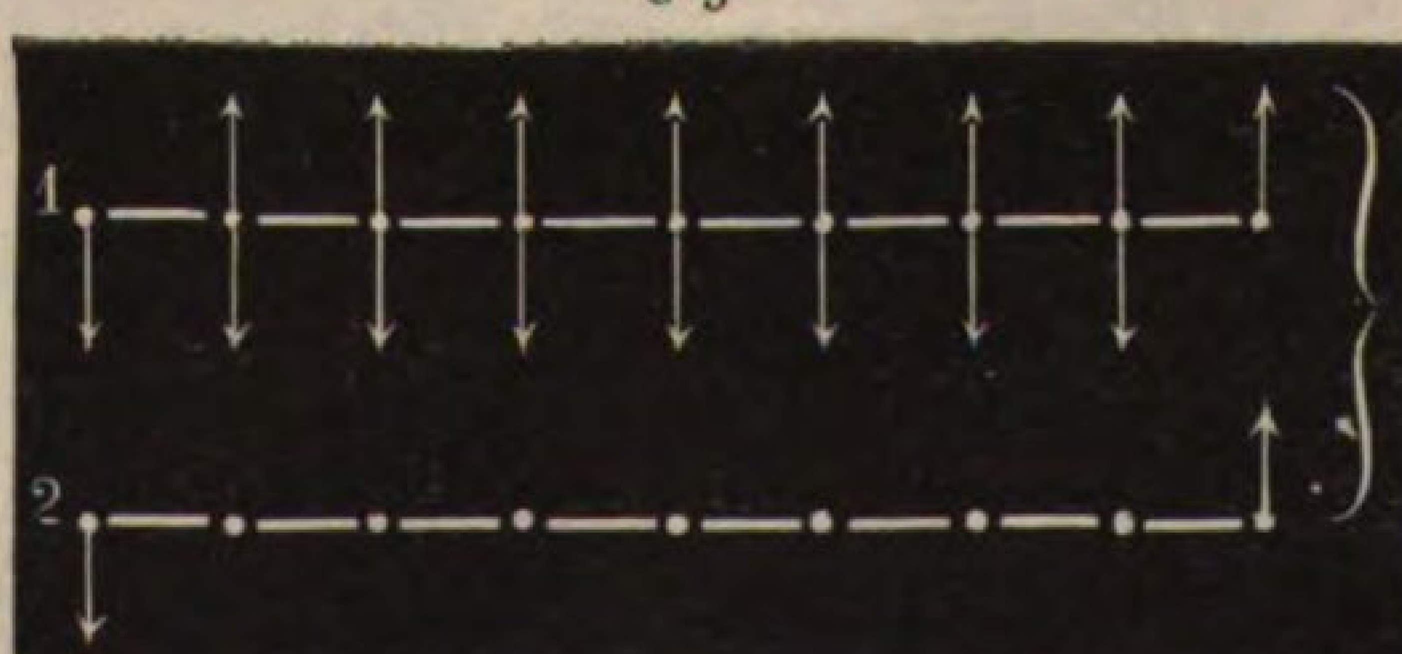
Fig. 67.



Halten wir diese Vorstellungsweise fest, so läßt sich leicht entwickeln, welche Erscheinungen ein Magnetstab hervorbringen muß, je nachdem alle seine Partikelchen gleich stark magnetisch sind, oder die Polarität der Partikelchen von der Mitte zu den Enden hin zu- oder abnimmt. Betrachten wir die drei Fälle näher.

1) Die magnetische Polarität sei in allen Partikelchen der ganzen Länge des Stabes nach gleich stark entwickelt, so stellt uns Nr. 1 Fig. 68 den Zustand eines solchen Stabes dar, wenn wir durch die aufwärts gerichteten Pfeilchen den Nord-, durch die abwärts gerichteten den Südmagnetismus darstellen. Da nun in jedem dieser Punkte gleich viel Nordmagnetismus (dem Theil-

Fig. 68.

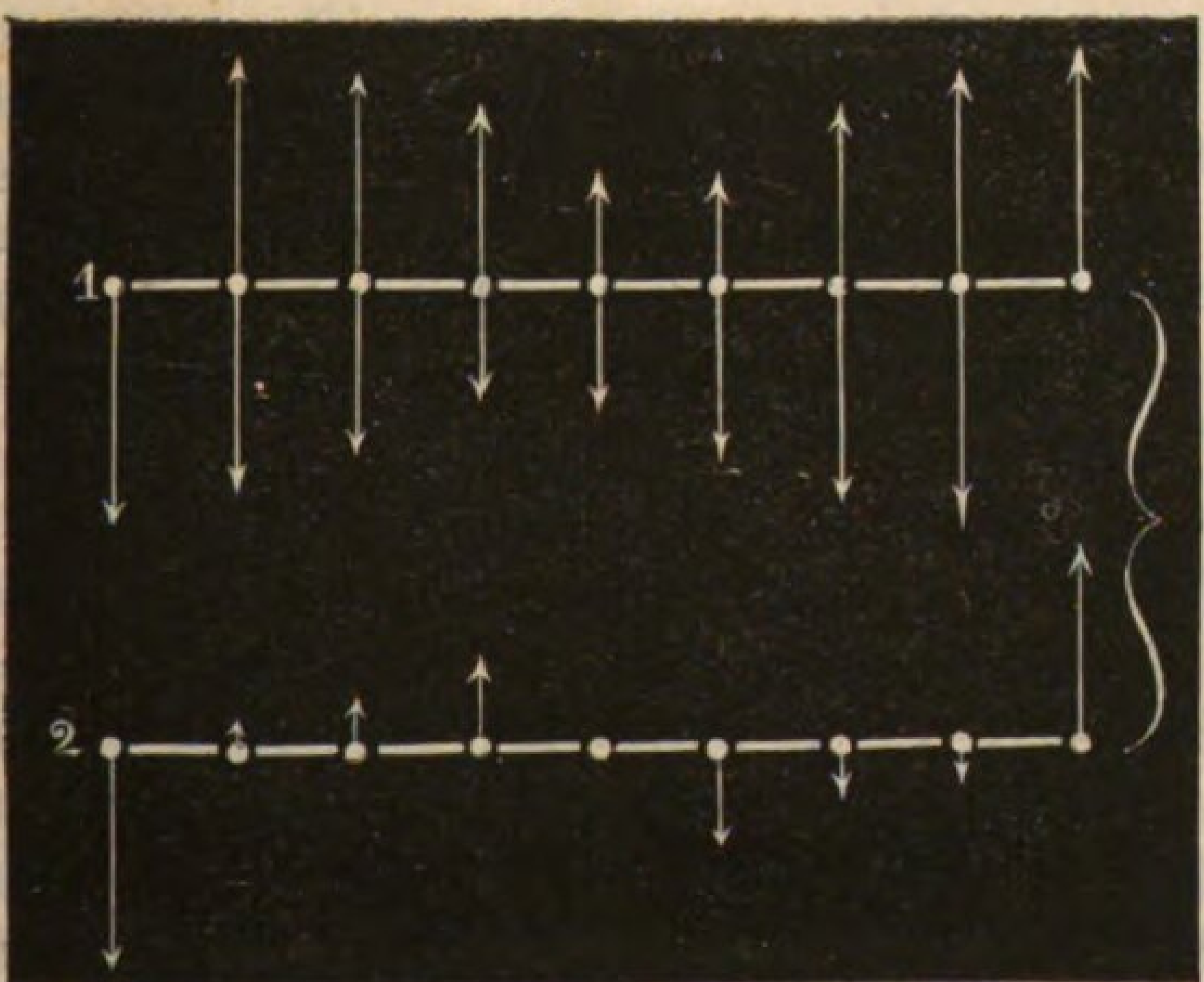


chen links zugehörig) und gleich viel Südmagnetismus (dem Theilchen rechts zugehörig) zusammenfällt, so kann in allen diesen Punkten kein freier Magnetismus auftreten, und wenn wir nur den freien Magnetismus berücksichtigen, so stellt uns also Nr. 2 Fig. 68 den Zustand des Stabes vor. Freier Magnetismus zeigt sich nur an den Endflächen, im übrigen ist der ganzen Länge des Stabes nach kein freier Magnetismus mehr vorhanden. Ein solcher Magnet müßte also nach Außen gerade so wirken, als ob seine Endflächen allein magnetisch wären, und zwar die eine mit Nord-, die andere mit Südmagnetismus beladen.

Da dies nun bei magnetischen Stahlstäben in der That nicht der Fall ist, so folgt, daß eine solche gleichförmige Vertheilung der freien magnetischen Fluida über den ganzen Stab hin in der That nicht stattfindet.

2) Wenn die magnetische Polarität der Theilchen in der Mitte am schwächsten entwickelt wäre und gegen die Enden hin zunähme, wie dies in Nr. 1 Fig. 69 versinnlicht ist, so würde sich eine Vertheilung des freien Magnetismus ergeben, wie sie in Nr. 2 Fig. 69 dargestellt ist. In der Mitte des Magneten würde der freie Magnetismus 0 sein und von dort gegen die Enden anfangs zu- und dann wieder abnehmen, um in den entgegengesetzten Magnetismus überzugehen; auf der einen Hälfte des Stabes wäre also freier Nordmagnetismus, während die Endfläche südmagnetisch ist; die andere Hälfte mit freiem Südmagnetismus hätte ein nordmagnetisches Ende. Eine so sonderbare Vertheilung des freien Magnetismus findet bekanntlich bei normal magnetisirten Stahlstäben durchaus nicht Statt.

Fig. 69.



3) Nehmen wir an, die magnetische Polarität der Theilchen sei in der Mitte am stärksten entwickelt, und nehme von da nach den Enden hin ab, wie es Nr. 1 Fig. 70 (a. f. S.) versinnlicht, so ergiebt sich daraus eine Vertheilung des freien Magnetismus, wie sie in Nr. 2 Fig. 70 dargestellt ist. In der Mitte ist der freie Magnetismus ebenfalls 0; von da wächst auf der einen Seite der freie Nordmagnetismus, auf der anderen der freie Südmagnetismus bis ans Ende.

Da dies in der That die Art der Vertheilung des freien Magnetismus in normal magnetisirten Stahlstäben ist, so sind wir zu der Annahme berech-

tigt, daß in ihnen die magnetische Polarität der Theilchen in der Mitte stärker entwickelt ist, als gegen die Enden hin.

Fig. 70.

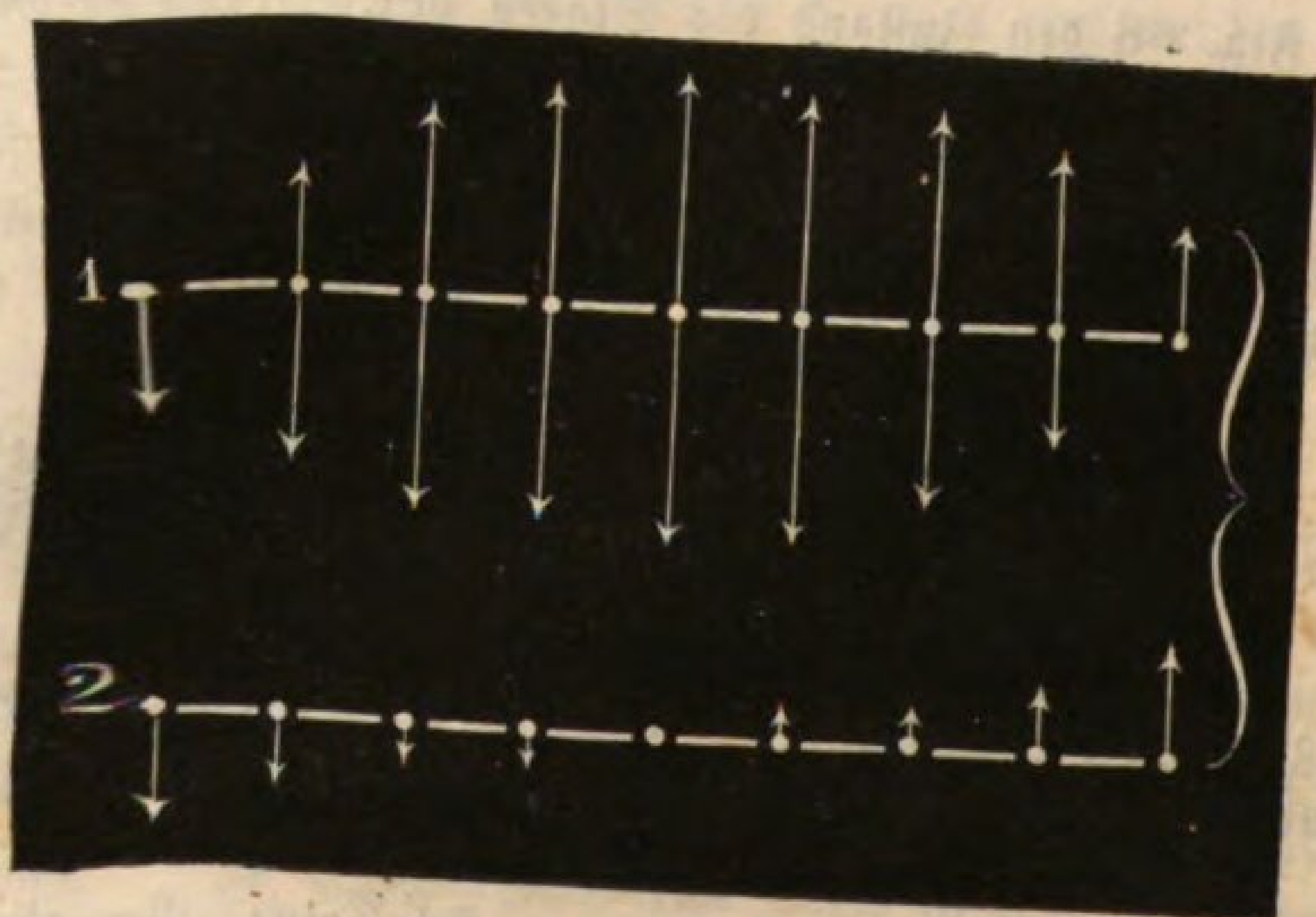
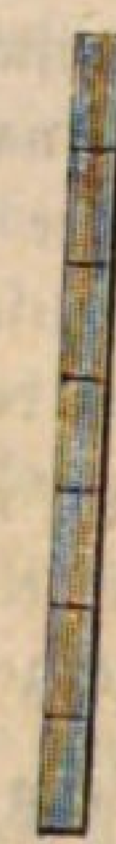


Fig. 71.



Für die Richtigkeit dieser Ansicht spricht auch die Thatsache, daß, wenn man eine Reihe von Stahlstäbchen hinter einander legt, wie es Fig. 71 angedeutet ist, und sie dann so behandelt, wie einen einzigen langen Stahlstab, den man magnetisiren will, daß alsdann nach dem Auseinandernehmen die Stäbchen einen um so stärkeren Magnetismus zeigen, je näher sie während des Streichens der Mitte lagen.

27 **Der Sättigungspunkt.** Die Quantität des Magnetismus, welche einem Stahlstab mitgetheilt werden kann, hängt stets von der Stärke der Streichmagnete ab, die Quantität des Magnetismus aber, welche ein Stahlstab behält, hat eine Grenze, welche man den Sättigungspunkt nennt. Eine Nadel z. B., welche nur 100 Schwingungen in 100 Secunden macht, wenn man sie mit schwachen Stäben magnetisirt, wird schon in 90, 80, 70 u. s. w. Secunden 100 Schwingungen machen, wenn man sie stärker magnetisirt. Wenn man aber sehr stark magnetisirt hat, so kann es kommen, daß gleich nach der Operation die Nadel einen stärkeren Magnetismus zeigt, als später, daß sie also einen Theil ihres Magnetismus wieder verliert. Wenn die magnetische Intensität unter einer gewissen Grenze bleibt, welcher z. B. 100 Schwingungen in 40 Secunden entsprechen, behält die Nadel ihren Zustand unverändert, d. h. nach Monaten und Jahren macht sie auch noch 100 Schwingungen in 40 Secunden. Wenn man aber dieser Nadel eine größere Intensität mitgetheilt hätte, so daß sie gleich nach dem Magnetisiren 100 Schwingungen in 30 oder 20 Secunden gemacht hätte, so würde ihre Stärke rasch bis zu dem Punkte abnehmen, wo sie wieder 100 Schwingungen in 40 Secunden macht, und diese Grenze ist der Sättigungspunkt. Es ist klar, daß der Sättigungspunkt einer Nadel oder eines Stabes nur von ihrer Coërcitivkraft und nicht von der Stärke der Magnetstäbe abhängt, die man zum Magnetisiren anwendet.

Um zu erkennen, ob eine Nadel bis zum Sättigungspunkte magnetisirt sei, hat man kein anderes Mittel, als sie mit stärkeren Magneten in demselben Sinne von Neuem zu magnetisiren. Wenn sie dadurch bleibend stärker wird, so war sie nicht bis zur Sättigung magnetisirt.

Man könnte vielleicht glauben, daß man durch fortgesetztes Streichen eine Magnetnadel beliebig verstärken könne; aber über eine gewisse Anzahl von Strichen hinaus hilft ein ferneres Streichen nichts mehr, und diese Grenze wird erreicht, wenn der Widerstand der Coërcitivkraft der zersetzenden Kraft des streichenden Magneten gleich ist.

Wenn man eine stark magnetisirte Nadel mit schwachen Magneten streicht, so verliert sie wieder von ihrer Stärke.

Ein Maß für die Stärke des Magnetismus in einem Stahlstabe liefert uns die Ablenkung, welche er an einer Magnetnadel aus einer gewissen Entfernung hervorzubringen vermag, oder auch die Schwingungsdauer desselben. Häcker in Nürnberg, welchem es gelungen ist, äußerst kräftige Magnetstäbe herzustellen, hat zahlreiche Versuche über die Schwingungsdauer von Stäben angestellt, welche bis zu ihrem Sättigungspunkte magnetisirt sind, und gefunden, daß sie sich nach der empirischen Formel

$$T = c \sqrt[3]{P} \; \sqrt[6]{L}$$

berechnen läßt, in welcher T die Schwingungsdauer in Secunden, P das Gewicht in Lothen, und L die Länge der Magnetstäbe in Zollen, c aber einen constanten Factor bezeichnet, welcher von der Stärke des Magnetismus abhängt. Für die von ihm gemachten Magnetstäbe fand er $c = 2{,}67$. Liegt der Sättigungspunkt tiefer, so wird der Factor c größer. Bei später gemachten Magnetstäben brachte Häcker den Factor c bis auf 2,35 herunter.

Diese Formel giebt uns einen Anhaltspunkt, um die Stärke des Magnetismus in einem Stahlstabe zu beurtheilen. Für einen 12 Zoll langen, 11 Loth schweren Magnetstab berechnet man aus obiger Formel für den Factor $c = 2{,}67$ den Werth $T = 8{,}95$ Secunden. Gesetzt nun, man habe für einen Stab der angegebenen Dimensionen die Schwingungsdauer gleich 12 Secunden gefunden, so folgt daraus, daß sein Magnetismus noch ziemlich weit von dem von Häcker erreichten Sättigungspunkte entfernt ist.

Man sieht aus obiger Formel, daß die Schwingungsdauer von Magnetstäben, welche bis zum Sättigungspunkte magnetisirt sind, bei gleichen Längen noch von der Masse, also vom Durchmesser abhängt. Je dicker sie sind, desto langsamer schwingen sie. — Wäre in einem dicken Stabe in jedem Punkte der Magnetismus eben so stark entwickelt, als in einem dünnen, so müßte die Schwingungsdauer von den Dimensionen des Querschnittes des Stabes unabhängig sein. Da nun aber die dicken Stäbe langsamer schwingen, so folgt, daß in einem dünnen Stahlstabe eine verhältnißmäßig weit stärkere Entwickelung des freien Magnetismus möglich ist, als in einem dickeren.

Damit steht nun auch folgende Erscheinung in Zusammenhang. Ein Mag-

netstab *sn*, Fig. 54, bringt eine bestimmte Ablenkung der Bussolennadel hervor. Wird nun noch ein zweiter, dem ersteren ganz gleicher und gleich magnetischer Stahlstab ans andere Ende des Maßstabes gelegt, so wird die Ablenkung nahezu verdoppelt (die Tangente des Ablenkungswinkels ist jetzt doppelt so groß als vorher). Die Wirkung der beiden Magnetstäbe ist hier die zweifache von der eines einzigen.

Legt man aber den zweiten Magnetstab auf den ersten, so daß die gleichnamigen Pole auf einander fallen, daß man also gewissermaßen einen Magnetstab von doppeltem Querschnitt hat, so ist nun die Wirkung der beiden Stäbe zusammen bei weitem nicht doppelt so groß als die eines einzigen.

Der Grund davon ist sehr leicht zu übersehen. Jeder Stab hat, wenn beide mit gleichnamigen Polen auf einander gelegt werden, ein Bestreben, die Polarität des anderen umzukehren. Eine solche Umkehrung findet nun freilich nicht Statt, jeder der beiden Stäbe schwächt aber wenigstens den Magnetismus des anderen.

Wie sich aber hier die beiden Magnetstäbchen gegen einander verhalten, so verhalten sich in einem Magnetstabe zwei nebeneinander liegende Längsstreifen, es ist also klar, daß man einen Stahlstab von größerem Querschnitte nicht bis zu derselben Grenze magnetisiren kann, wie einen dünneren.

28 **Einfluß der Wärme auf den Magnetismus.** Wir haben schon gesehen, daß ein natürlicher Magnet sowohl wie ein künstlicher seinen Magnetismus vollständig verliert, wenn man ihn bis zum Weißglühen erhitzt; d. h. nach dem Erkalten bemerkt man an ihm durchaus keine magnetischen Eigenschaften mehr. Diese Beobachtung ist schon von Gilbert gemacht worden. Dadurch verlieren aber die Körper die Eigenschaft nicht, wieder magnetisch zu werden, wenn man sie durch die bekannten Verfahrungsarten wieder magnetisirt. Ihre Coërcitivkraft ist jedoch geändert; die der natürlichen Magnete nimmt ab, ohne daß man im Stande ist, sie in ihrer ursprünglichen Stärke wieder herzustellen, die der künstlichen Magnete ist ganz zerstört, läßt sich aber durch neues Härten vollkommen wieder herstellen.

Der Verlust des Magnetismus findet nicht auf einmal, sondern nach und nach Statt in dem Maße als die Temperatur steigt. Um sich davon zu überzeugen, nehme man einen Magnetstab, dessen Stärke man durch die Oscillationsdauer bestimmt; man erhitze ihn nach einander bis zu verschiedenen Wärmegraden und lasse ihn jedesmal wieder erkalten. Hat man ihn z. B. bis 100° erwärmt, so wird er nach dem Erkalten langsamer oscilliren als vorher. Erwärmt man ihn dann bis auf 200°, so wird man finden, daß sein Magnetismus wieder abgenommen hat u. s. w.

Die magnetische Kraft eines bei niedriger Temperatur magnetisirten Magneten nimmt bei Erhöhung der Temperatur fortwährend ab. So war z. B. die Magnetkraft eines bei 20° magnetisirten Stabes bei einer Temperatur von 95° nur noch 0,633 von derjenigen, welche er bei 20° zeigte. Bei der Abkühlung des Stabes kam aber ein Theil des verlorenen Magnetismus wieder

zum Vorschein, so daß nach dem Erkalten auf 20° seine Magnetkraft wieder auf 0,702 der ursprünglichen gestiegen war.

Kupffer hat bemerkt, daß man einen Magnet längere Zeit einer bestimmten Temperatur aussetzen muß, wenn er allen Magnetismus verlieren soll, den er bei dieser Temperatur überhaupt verlieren kann. Eine Magnetnadel z. B., welche mehrmals nach einander 10 Minuten lang in kochendes Wasser gesteckt wurde, verlor erst nach sechs Eintauchungen ihren Magnetismus, soweit es für diese Temperatur möglich war. Um 200 Schwingungen zu machen, brauchte sie vor dem ersten Eintauchen 578 Secunden, nach dem ersten Eintauchen 637″, nach dem zweiten 642″, nach dem dritten 645″, nach dem vierten 647″, nach dem fünften 650″, nach dem sechsten 652″ und nach dem siebenten Eintauchen endlich wieder 652 Secunden.

Dufour hat die interessante Beobachtung gemacht, daß ein bei höherer Temperatur (nicht bis zum Sättigungspunkt) magnetisirter Stahlstab sowohl bei gesteigerter Erwärmung als auch bei Erkaltung an Magnetkraft abnehme. An einem bei 60° magnetisirten Stahlstabe beobachtete er folgende zusammengehörige Temperaturen und magnetische Intensitäten:

Temperatur	60°	42°	23°	3°
Intensität	1,71	1,63	1,53	1,35

Die Magnetkraft eines bei 2° magnetisirten Stahlstabes nahm, als derselbe durch eine Kältemischung bis — 25° erkaltet wurde, im Verhältniß von 5,1 zu 4,9 ab.

Ein Magnet, bis zu heller Rothglühhitze erwärmt, verliert seinen Magnetismus so vollständig, daß er sich gegen Eisen, gegen einen anderen Magneten ganz indifferent verhält. Ebenso wird auch glühendes Eisen von einem Magnet nicht mehr angezogen. Bei dem Eisen giebt es also eine Temperaturgrenze, über welche hinaus es für den Einfluß des Magnetismus unempfänglich ist.

Die Betrachtung dieser magnetischen Grenze führt uns auf den Gedanken, daß es auch für andere Körper eine solche magnetische Grenze geben könne, und in der That hat der Versuch diese Erwartung bestätigt, es hat sich ergeben:

1) daß für Kobalt diese Grenztemperatur noch weit über der Weißglühhitze liegen müsse, denn in den höchsten Temperaturen, welchen man das Kobalt aussetzte, fand man es noch magnetisch;

2) daß die magnetische Grenze des Chroms etwas unter der Temperatur des Dunkelrothglühens liege;

3) daß die magnetische Grenze des Nickels ungefähr bei 350°, d. h. in der Nähe des Schmelzpunktes des Zinks liegt;

4) daß die magnetische Grenze des Braunsteins 20° bis 25° über Null liegt.

Einfluß des Lichtes auf den Magnetismus. Morichini war der Erste, welcher behauptete, daß die violetten Strahlen und diejenigen, welche dem violetten Ende des Spectrums nahe liegen, im Stande seien, Stahlnadeln 29

magnetisch zu machen. Viele, welche den Versuch machten, fanden Morichini's Behauptung nicht bestätigt, doch ist jetzt die erwähnte Fähigkeit des violetten Lichtes, Stahlnadeln zu magnetisiren, durch Lady Sommerville außer Zweifel gesetzt. Wenn der Versuch gelingen soll, so darf man nicht die ganze Nadel der Wirkung der violetten Strahlen des prismatischen Bildes aussetzen, sondern nur diejenige Hälfte, welche zum Nordpol werden soll, zu welchem Zwecke man die andere Hälfte mit Papier verdeckt. Bei dieser Vorsicht werden die Nadeln in einigen Stunden magnetisch.

Die blauen und grünen Strahlen des Spectrums bringen dieselbe Wirkung hervor, wie die violetten, nur in geringerem Grade; die gelben, orangefarbigen und rothen sind wirkungslos, selbst bei dreitägiger Fortsetzung der Versuche.

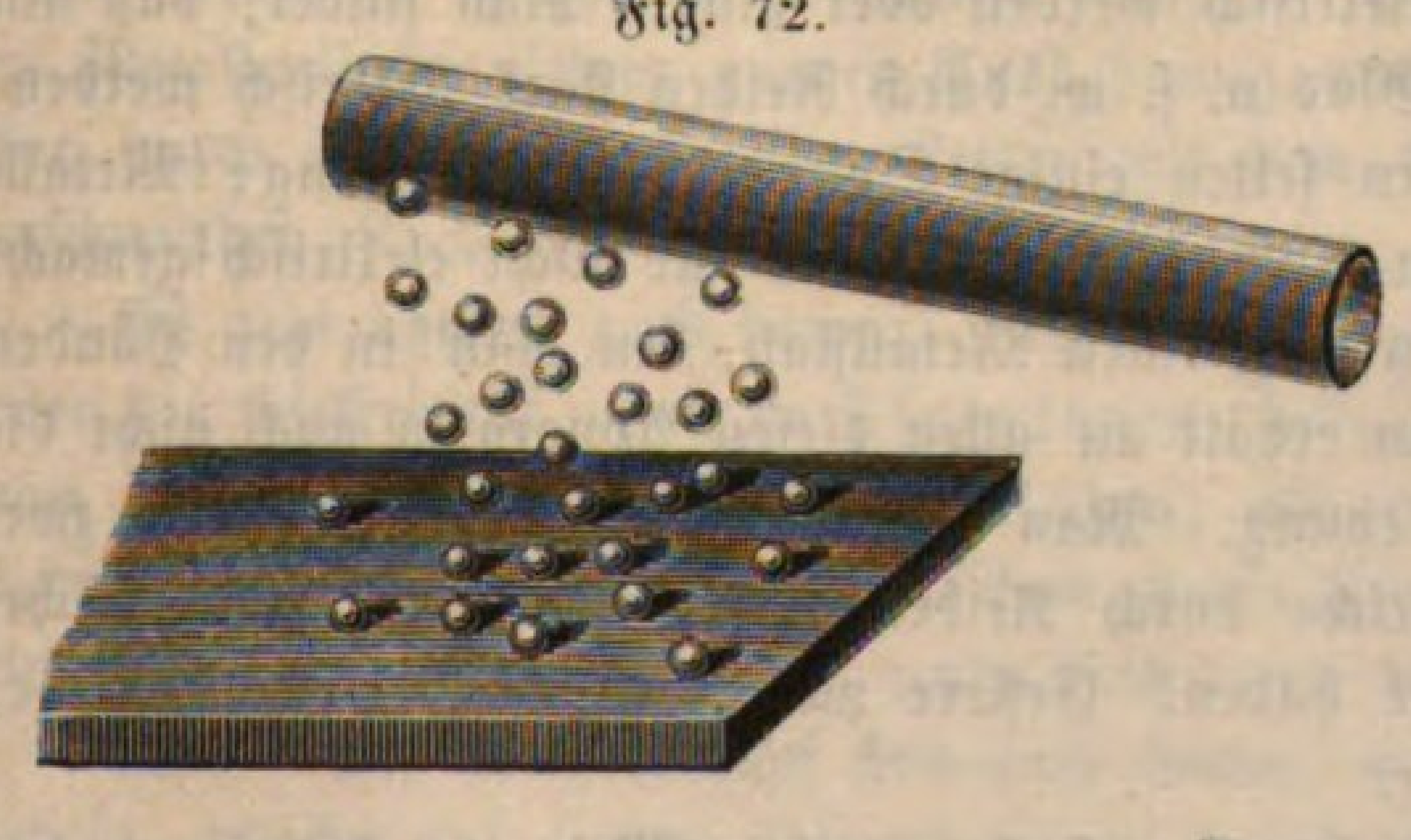
Auch Nadeln, welche halbbedeckt unter ein mit Kobalt blau oder grün gefärbtes Glas gelegt und dann der Einwirkung des Sonnenlichtes ausgesetzt wurden, erhielten magnetische Eigenschaften. Dieselbe Wirkung erhält man, wenn man eine Nadel zur Hälfte mit einem grünen oder blauen Bande umwickelt dem Tageslichte aussetzt.

Zweites Capitel.

Die Phänomene der elektrischen Spannung.

Entwickelung der Elektricität durch Reibung. Man kann sich 30
leicht überzeugen, daß die Körper in ihrem gewöhnlichen Zustande durchaus die Eigenschaft nicht haben, leichte Körper, wie Goldflitter, Sägespähne, Papierschnitzel, Kügelchen von Hollundermark u. s. w. anzuziehen. Wenn man aber mit Wollen- oder Seidenzeug einen Glasstab, eine Stange Schwefel oder Siegellack, ein Stück Bernstein u. s. w. reibt, so erlangen diese Körper sogleich jene merkwürdige Eigenschaft. Die anziehende Kraft ist oft so groß, daß schon in einer Entfernung von mehr als sechs Zoll Kügelchen von Hollundermark aufgezogen werden (Fig. 72.) Die Ursache dieses Phänomens nennt man Elektricität, nach dem griechischen Worte ἤλεκτρον, welches Bernstein bedeutet, an welchem die griechischen Philosophen zuerst diese merkwürdige Eigenschaft beobachtet hatten.

Fig. 72.



Um mit Sicherheit entscheiden zu können, ob ein Körper durch Reiben elektrisch wird oder nicht, wendet man Apparate an, welche Elektroskope genannt werden.

Das einfachste Elektroskop ist das elektrische Pendel (Fig. 73 a. f. S). Es besteht aus einer kleinen Kugel von Hollundermark, welche an einem feinen leinenen Faden aufgehängt ist. Wenn man einen Körper prüfen will, so

nähert man ihn dem Kügelchen; wird es angezogen, so ist der Körper elektrisch, wird es aber nicht angezogen, so ist er entweder nicht elektrisch, oder seine Elektricität ist doch zu schwach, um hier eine Wirkung hervorzubringen.

Fig. 73.

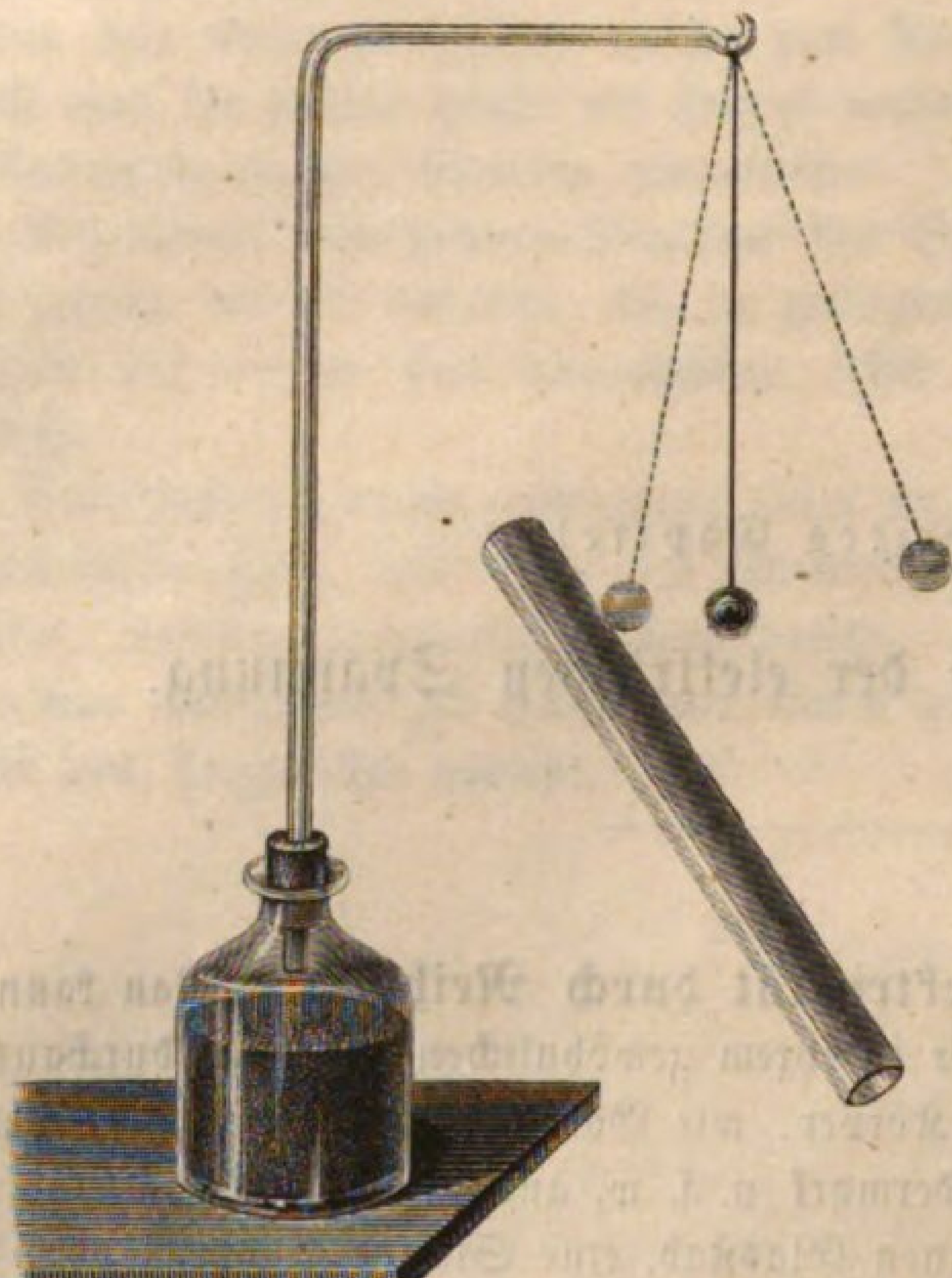
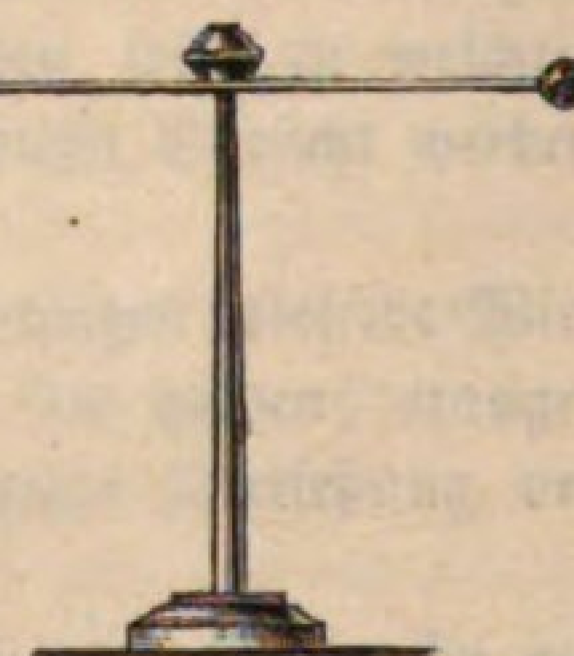


Fig. 74.



Die elektrische Nadel (Fig. 74) ist eben so empfindlich als das elektrische Pendel. Sie besteht aus einem Messingdrahte, welcher in zwei metallischen Kugeln endigt. In der Mitte des Drahtes befindet sich ein Stahl- und Achathütchen, welches auf einer feinen Spitze ruht. Eine geringe elektrische Kraft reicht schon hin, die Nadel in Bewegung zu setzen.

Mit Hülfe dieser Apparate kann man untersuchen, in wiefern die verschiedenen Körper durch Reiben elektrisch werden oder nicht. Man findet, daß alle Harze, Bernstein, Schwefel, Glas u. s. w. durch Reiben stark elektrisch werden; Edelsteine, Holz, Kohle geben selten einige Spuren von Anziehung; Metalle endlich scheinen auf den ersten Anblick durch Reiben gar nicht elektrisch gemacht werden zu können, denn man mag einen Metallstab, den man in den Händen hält, noch so stark reiben, man erhält an allen diesen Apparaten auch nicht die mindesten Spuren von Anziehung. Man theilte danach alle Körper in zwei große Klassen, in solche, welche durch Reiben elektrisch werden, und solche, welche diese Eigenschaft nicht haben. Erstere nannte man idioelektrische, letztere anelektrische Körper.

Diese Eintheilung beruht jedoch auf einer irrigen Meinung, denn man hat gefunden, daß alle Körper, selbst Metalle, durch Reiben elektrisch gemacht werden können, und wenn man bei vielen unter den gewöhnlichen Umständen durch Reiben keine Spur von Elektricität erhalten kann, so ist die Ursache davon eine ganz andere, wie wir sogleich sehen werden.

Leiter und Nichtleiter. Man war früher der Meinung, daß die Kör- 31
per, welche man mit dem Namen der anelektrischen bezeichnet hatte, auf keinerlei Weise in den elektrischen Zustand versetzt werden könnten. Ein englischer Physiker, Gray, machte im Jahre 1727 Versuche mit einer an beiden Enden offenen Glasröhre. Er wollte sehen, ob sie auch elektrisch würde, wenn sie an beiden Enden mit Korkstopfen verschlossen war; in jener Zeit war nämlich die Elektricitätslehre noch so wenig vorgeschritten, daß man eben in den Tag hinein experimentirte, weil man noch keine Ansicht, noch keine Theorie hatte, welche den Gang der Versuche hätte leiten können. Zu seinem größten Erstaunen fand nun Gray, daß die Stopfen selbst elektrisch geworden waren, obgleich der Kork in die Klasse der anelektrischen Körper gehört. Ein in den Kork gesteckter Metalldraht wurde auch elektrisch, so lang er auch sein mochte; ja er begab sich mit seiner elektrischen Röhre in das erste, zweite, dritte Stockwerk seines Hauses und ließ den Metalldraht bis auf den Boden herabhängen. Er rieb die Glasröhre, einer seiner Freunde näherte dem unteren Ende des Drahtes leichte Körperchen, und siehe, sie wurden angezogen. Es folgte daraus, daß die Metalle die Eigenschaft haben, den elektrischen Zustand anzunehmen und fortzupflanzen. Dieselbe Eigenschaft haben aber alle anelektrischen Körper, man nannte sie deshalb Leiter der Elektricität. Die idioelektrischen Körper dagegen sind keine Leiter; denn wenn man z. B. einen Glasstab durch Reiben an einem Ende elektrisch macht, so zeigt das andere Ende keine Spur von Anziehung.

Man kann diese Fundamentalwahrheit sehr gut mit Hülfe der Elektrisirmaschine nachweisen, welche wir, ohne noch ihre Einrichtung zu kennen, doch vor der Hand schon als Mittel anwenden können, um Elektricität zu entwickeln. Der Conductor der Maschine ist ein metallischer Körper, welcher elektrisch gemacht wird. Wenn man mit dem in den elektrischen Zustand versetzten Conductor einen langen an Seidenschnüren aufgehängten, oder bequemer einen auf einem Glasfuße stehenden Metallcylinder, in Verbindung bringt, so wird der Metallcylinder seiner ganzen Ausdehnung nach elektrisch; sobald man ihn aber durch irgend einen guten Leiter mit dem Boden in Verbindung setzt, verschwindet alle Elektricität augenblicklich.

Es geht daraus auch hervor, daß die Seidenfäden, der Glasstab, Nichtleiter der Elektricität, daß sie Isolatoren sind. Ein Leiter der Elektricität kann also nur so lange elektrisch bleiben, als er isolirt, d. h. von lauter Nichtleitern umgeben ist. Auch die Luft ist ein Isolator, denn sonst würde die Elektricität von dem Metalle augenblicklich durch die Luft abgeführt werden.

Wasser und Wasserdampf sind gute Leiter, deshalb verliert sich die Elektricität, welche auf einem isolirten Leiter bei trockener Luft lange haftet, sehr schnell, wenn die Luft feucht ist.

Auch der menschliche Körper ist ein guter Leiter. Wenn man, auf dem Boden stehend, den Conductor der Elektrisirmaschine anfaßt, so wird alle Elektricität, welche durch das Drehen derselben erzeugt wird, sogleich abgeführt, wenn man aber auf einem schlechten Leite, etwa auf einem Harzkuchen, steht,

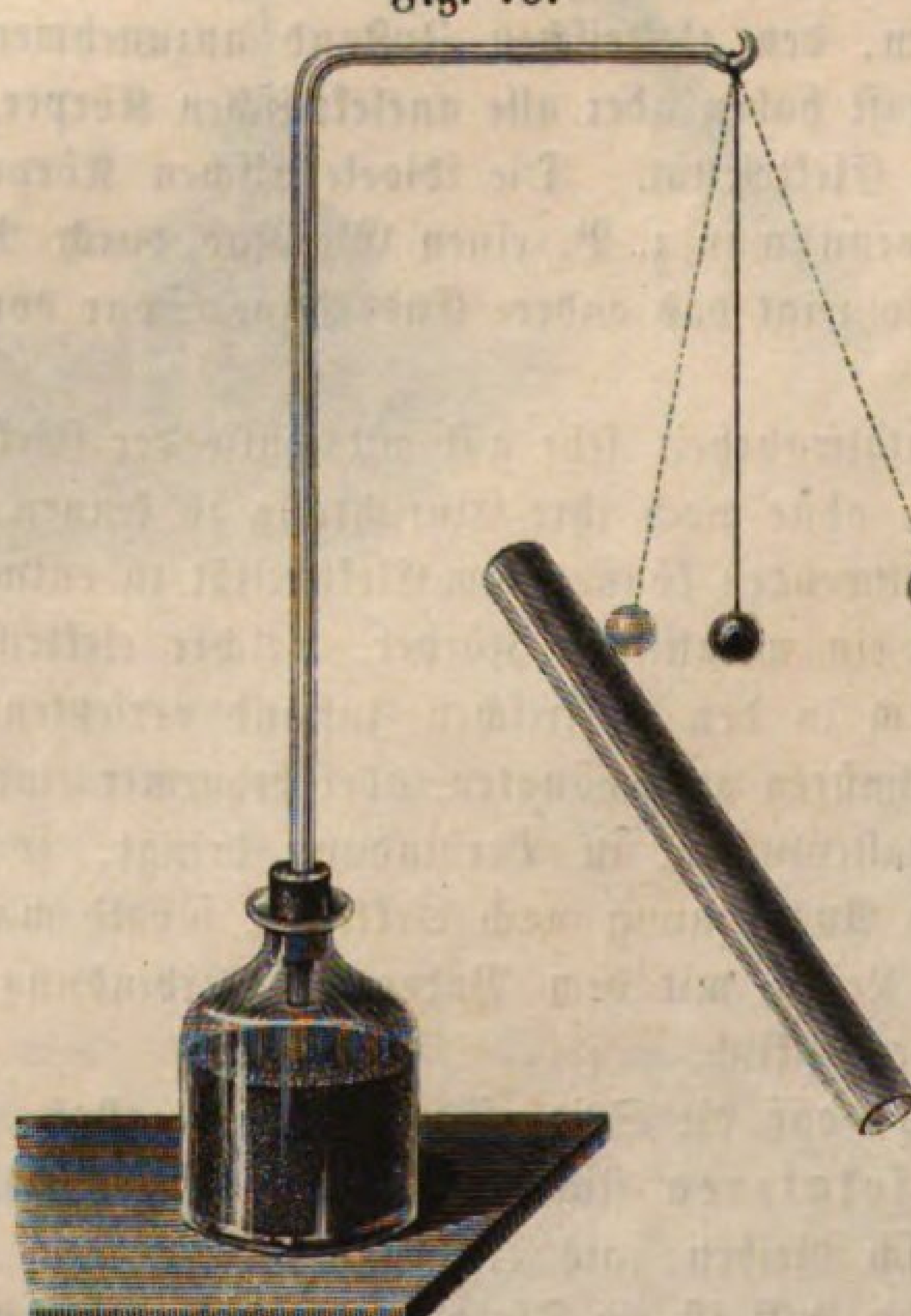
so wird der ganze Körper elektrisch. Man sieht jetzt auch ein, warum eine Metallstange, die man in der Hand hält, durch Reiben nicht elektrisch wird; alle Elektricität nämlich, welche man durch das Reiben erzeugt, wird sogleich durch den menschlichen Körper wieder abgeführt.

Die besten Isolatoren werden Leiter, wenn sich Wasserdampf auf ihnen niederschlägt. Es ist deshalb für den Erfolg elektrischer Versuche von der größten Wichtigkeit, Glasfüße, Harzstangen u. s. w., welche einen Leiter isoliren sollen, durch Erwärmen und Reiben gehörig trocken zu machen.

Statt die Körper in Leiter und Nichtleiter einzutheilen, müßte man sie, um genauer zu reden, gute oder schlechte Leiter nennen, denn absolute Nichtleiter giebt es nicht. Schellack, überhaupt Harze, Seide und Glas sind die schlechtesten Leiter, die es giebt; die Metalle hingegen sind die besten Leiter.

32 **Von den beiden Arten der Elektricität.** Nehmen wir ein einfaches elektrisches Pendel (Fig. 75) zur Hand, dessen Kügelchen an einem Seidenfaden aufgehängt ist. Wenn man eine geriebene Glas- oder Schellackstange nähert, so wird das Hollundermarkkügelchen angezogen, es berührt die Stange, bleibt aber nur einige Augenblicke daran haften, um alsbald abgestoßen zu werden. Diese Repulsion rührt von der Elektricität her, welche dem Kügelchen durch die Berührung mit der Stange mitgetheilt worden ist, denn wenn man es mit der Hand berührt und es dadurch wieder in seinen natürlichen Zustand zurückführt, wird es von Neuem angezogen und nach der Berührung abermals abgestoßen. Daß das abgestoßene Kügelchen wirklich elektrisch ist, geht auch daraus hervor, daß es selbst von Körpern, die sich im natürlichen Zustande befinden (man muß jedoch zu diesem Versuche Leiter wählen), angezogen wird.

Fig. 75.



Wenn man zwei isolirte Pendel nimmt, von denen das eine durch Berührung mit einer Glasstange, die mit Seide gerieben worden war, das andere durch eine mit Pelz geriebene Schellackstange elektrisch gemacht worden ist, so beobachtet man folgende merkwürdige Erscheinung. Das eine Kügelchen, wel-

ches durch die Glasstange abgestoßen wird, wird durch die Schellackstange angezogen, das vom Schellack abgestoßene aber wird durch das Glas angezogen. Die Elektricität des geriebenen Glases ist also nicht identisch mit der des Harzes, weil jede das anzieht, was die andere abstößt.

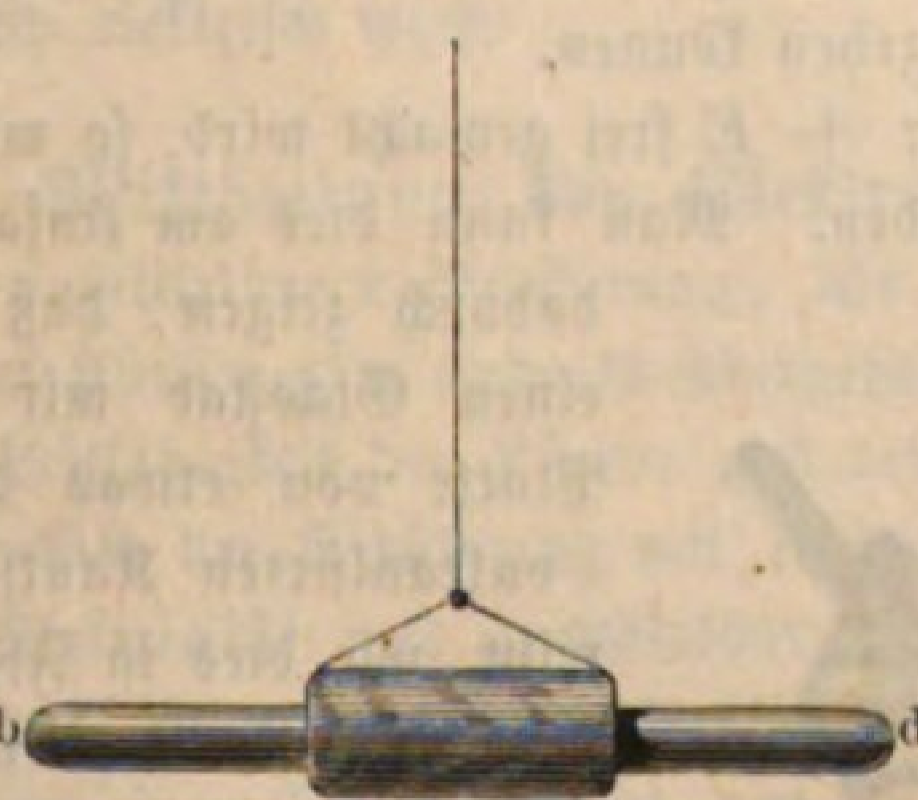
Die beiden Elektricitäten hat man mit dem Namen der Glaselektricität und der Harzelektricität bezeichnet. Die Glaselektricität wird auch die positive, die Harzelektricität die negative genannt. Die Entdeckung der beiden verschiedenen Elektricitäten wurde von Dufay im Jahre 1773 gemacht.

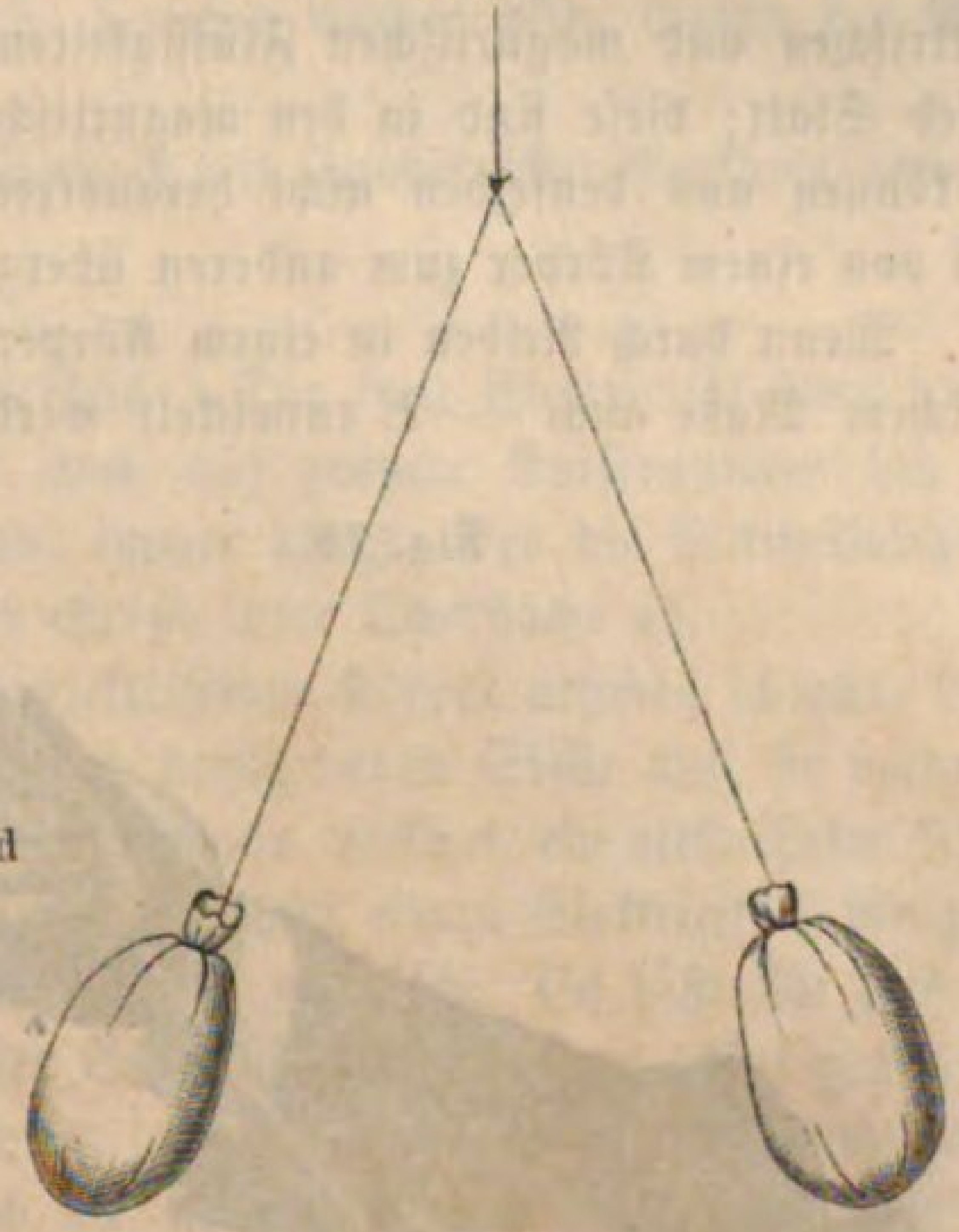
Daß sich gleichnamige Elektricitäten abstoßen, ungleichnamige aber anziehen, läßt sich auf folgende von Frick angegebene Weise darthun:

Ein ganz dünner Metalldraht oder auch ein ungedrehter Seidenfaden von 1 bis 2 Fuß Länge, trägt unten eine ungefähr 1 Zoll lange hölzerne Hülse, Fig. 76, in welche man einen Glas- oder Harzstab *b d* einschieben kann. Ein solcher Stab, in der Hülse liegend, kann sich natürlich nur in horizontaler

Fig. 77.

Fig. 76.





Ebene um die verticale Axe des Fadens drehen. — Wird nun ein durch Reiben positiv elektrisch gemachter Glasstab in die Hülse eingelegt, so wird derselbe von einem zweiten ihm genäherten, auf dieselbe Weise geriebenen Glasstab abgestoßen, während eine geriebene Harzstange den in der Hülse liegenden in horizontaler Ebene leicht drehbaren Glasstab anzieht. — Liegt ein negativ elektrischer Harzstab in der Hülse, so wird er von einem geriebenen Harzstab abgestoßen, von einem Glasstab aber angezogen.

Sehr schön läßt sich die Abstoßung gleichartig elektrischer Körper mit zwei Collodiumballons zeigen, welche möglichst leicht sind und 2 bis $2^1/_2$ Zoll im Durchmesser haben. Man hängt sie an dünnen Seidenfäden neben einander auf und streicht jeden ein- oder zweimal durch die trockene Hand; sie werden dadurch schon so stark elektrisch, daß sie sich kräftig abstoßen und divergiren, wie Fig. 77

zeigt. Es ist nur schade, daß nicht alle Collodiumballons zu diesem Versuche geeignet und daß sie sehr vergänglich sind.

33 **Von den elektrischen Flüssigkeiten und dem natürlichen Zustande der Körper.** Was eigentlich das Agens sei, welches die elektrischen Erscheinungen hervorbringt, ist bis jetzt keineswegs genügend bekannt; da es jedoch sehr schwer hält, eine klare Uebersicht der elektrischen Erscheinungen zu geben, ohne eine theoretische Ansicht über das Wesen der Elektricität zu Grunde zu legen, so behält man die Vorstellung noch bei, daß es zwei verschiedene elektrische Flüssigkeiten gebe, obgleich die Existenz solcher Flüssigkeiten ziemlich unwahrscheinlich ist. — Wenn diese beiden Flüssigkeiten in einem Körper verbunden sind, wenn sie sich in demselben gegenseitig neutralisiren, so ist er in seinem natürlichen Zustande. Wenn in einem Körper aber die beiden E zersetzt werden, so wird er elektrisch, und zwar positiv, wenn die Glaselektricität, negativ, wenn die Harzelektricität vorherrscht. Zwischen den elektrischen und magnetischen Flüssigkeiten findet jedoch ein wesentlicher Unterschied Statt; diese sind in den magnetischen Partikeln gleichsam eingeschlossen, sie können aus denselben nicht heraustreten, während die elektrischen Fluida frei von einem Körper zum anderen übergehen können.

Wenn durch Reiben in einem Körper $+ E$ frei gemacht wird, so muß in gleichem Maße auch $- E$ entwickelt werden. Man kann dies am einfachsten dadurch zeigen, daß man einen Glasstab mit einer Platte von etwas dickem vulcanisirten Kautschuk reibt, wie dies in Fig. 78 angedeutet wird; nähert man die geriebene Seite der Kautschukplatte der Kugel des elektrischen Pendels, Fig. 75, nachdem man dieselbe mit $- E$ geladen hat, so wird die Kugel abgestoßen; die Kautschukplatte ist also gleichfalls negativ elektrisch, während der durch Reiben positiv gewordene Glasstab die negativ elektrische Kugel anzieht.

Fig. 78.



Da ein Körper in seinem natürlichen Zustande die beiden E in gleichem Maaße enthält, so giebt es keinen Grund, anzunehmen, daß er besonders geeignet sei, vorzugsweise die eine aufzunehmen und zurückzuhalten, er kann also auch durch Reiben bald $+$, bald $-$ elektrisch werden, je nachdem man ein

anderes Reibzeug wählt. So kommt es z. B. häufig vor, daß Glasstäbe, mit Wolle gerieben, negativ werden, während sie beim Reiben mit Kienmayer'schem Amalgam (1 Gewichtstheil Zinn, 1 Zink, 2 Quecksilber; dieses Gemisch wird frisch gepulvert auf ein schwach mit Fett bestrichenes Leder aufgetragen) stets positive Elektricität annehmen.

Es hängt dies offenbar von dem Oberflächenzustande des Glases ab. Heintz hat gefunden, daß ein Glasstab, welchen man mehrmals durch die Flamme einer Spirituslampe gezogen hat, bei schwachem Reiben mit Tuch negativ elektrisch wird, während sich bei stärkerem Reiben die positive Elektricität wieder einstellt. — Die Weingeistflamme wirkt hier wohl nur in so fern als sie das Glas von der Luftschicht befreit, welche gewöhnlich auf der Oberfläche desselben condensirt ist.

Wenn man die eine Längenhälfte eines Glasstabes matt schleift, der anderen aber die natürliche Oberfläche läßt, so zeigt das matte Ende, mit Wolle gerieben, negative Elektricität, während das glatte Ende unter denselben Umständen positiv wird. Mit Amalgam gerieben werden beide Enden des Glasstabes positiv.

Greiß hat gefunden, daß Siegellack mit Zunder oder Korkholz gerieben, positiv elektrisch wird.

Mittheilung der Elektricität. Die freie Elektricität kann sowohl 34
bei unmittelbarer Berührung, als auch auf größere Entfernungen hin von einem Körper zum anderen übergehen, immer hängt aber die Mittheilung von der Leitfähigkeit der Körper und der Größe ihrer Oberfläche ab.

Bei der Berührung mit einem elektrisirten Körper nehmen schlechte Leiter die Elektricität nur unmittelbar an der berührenden Stelle auf, sie verbreitet sich nicht über ihre ganze Ausdehnung. Ebenso verliert ein elektrisirter Isolator, an einer Stelle berührt, nur unmittelbar hier etwas Elektricität, die ganze nicht berührte Oberfläche bleibt nach wie vor elektrisch. Es läßt sich dies sehr leicht mit einer geriebenen Glas- oder Siegellackstange zeigen. Bei guten Leitern verhält sich die Sache ganz anders. An einem Punkte, mit einem elektrischen Körper berührt, verbreitet sich die übergegangene Elektricität über den ganzen Leiter, und wenn man einen isolirten elektrisirten Leiter mit dem Boden in leitende Verbindung bringt, so verliert er augenblicklich alle seine Elektricität.

Auch ohne unmittelbare Berührung kann die Elektricität von einem Körper zum anderen übergehen, und man beobachtet dabei das merkwürdige Phänomen des elektrischen Funkens. Wenn man einem geriebenen Glas- oder Schellackstab einen Metallstab oder den Knöchel eines Fingers nähert, so sieht man ein Fünkchen überspringen und hört dabei ein knisterndes Geräusch. Sehr stark erhält man diese knisternden Funken, wenn man einen Bogen Papier, der auf einer warmen, wo möglich metallischen Unterlage liegt, mit Wollentuch peitscht und dann aufhebt; auf 1 bis 2 Zoll weit springen alsdann vom Papier die Funken auf den genäherten Finger über. Wenn

der elektrisirte Körper metallisch und von bedeutender Oberfläche ist, wie der Conductor der Elektrisirmaschine, so werden die Funken stärker, sie springen unter Umständen schon in einer Entfernung von 1 bis 4 Fuß über; ihr Licht ist dann blendend hell, und das Geräusch, welches sie begleitet, sehr stark.

Otto von Guericke, der Erfinder der Luftpumpe, hat zuerst den elektrischen Funken beobachtet. Später zeigte Dufay zur allgemeinen Verwunderung, daß man selbst aus dem menschlichen Körper, wie aus dem Conductor der Maschine, Funken entlocken könne.

Um diesen Versuch zu machen, stellt man sich auf einen Harzkuchen oder auf einen mit Glasfüßen versehenen Schemel (Isolirschemel) und bringt den Körper mit dem Conductor der Maschine in leitende Verbindung. Wenn die Maschine gedreht wird, gewahrt man auf der Haut, namentlich im Gesichte, ein eigenthümliches Gefühl, ungefähr wie wenn man in Spinngewebe gerathen wäre. Die Haare auf dem Kopfe sträuben sich. Wenn sich dem so elektrisirten menschlichen Körper ein nicht isolirter Leiter, etwa eine andere Person, mit dem Knöchel der Hand nähert, so springt ein Funken über, der für das Gefühl um so empfindlicher ist, auf je größere Entfernung er überspringt.

Wenn die Elektricität von einem isolirten Leiter auf einen anderen übergeht, so vertheilt sie sich stets nach dem Verhältnisse der Oberflächen; damit also ein isolirter Leiter alle seine Elektricität verliere, muß man ihn mit einem anderen in Berührung bringen, dessen Oberfläche unverhältnißmäßig größer ist, also z. B. mit dem Fußboden, denn dadurch ist er mit der ganzen Erdoberfläche in Verbindung, auf welcher sich seine Elektricität spurlos verliert, eben weil sie sich über eine so ungeheure Fläche gleichmäßig vertheilt. Wenn man eine isolirte elektrisirte Metallkugel mit einer anderen gleich großen, gleichfalls isolirten, aber nicht elektrischen in Berührung bringt, so wird erstere gerade die Hälfte ihrer E verlieren. Wenn man dem Conductor der Elektrisirmaschine eine isolirte Metallkugel nähert, so schlagen nur schwache Funken über, während man mit einem nicht isolirten Leiter dem Conductor sehr kräftige Funken entlocken kann.

35 **Elektrische Vertheilung.** Wir haben gesehen, daß jede der elektrischen Flüssigkeiten die gleichnamige abstößt und die ungleichnamige anzieht. Diese Anziehung und Abstoßung äußert sich aber nicht allein auf die schon zersetzten Flüssigkeiten, sondern auch auf die noch verbundenen, und daher kommt es, daß die verbundenen Elektricitäten eines Leiters, der sich im natürlichen Zustande befindet, durch die Annäherung eines elektrischen Körpers von einander getrennt, daß also jener Körper durch Vertheilung elektrisch wird.

Einem isolirten Leiter ab, Fig. 79, nähere man von der einen Seite her einen elektrischen Körper, etwa einen negativ elektrischen Harzstab r, so wird ab durch Vertheilung elektrisch. Dem vertheilenden Körper r zunächst befindet sich bei b die angezogene positive, an dem von r abgewandten Ende a des isolirten Leiters die abgestoßene negative Elektricität.

Daß die Elektricitäten wirklich auf diese Weise vertheilt sind, läßt sich

durch ein Probescheibchen nachweisen. Es ist dies ein Scheibchen von Rauschgold oder von Messingblech von 1 bis 2 Centimeter Durchmesser, Fig. 80,

Fig. 79.

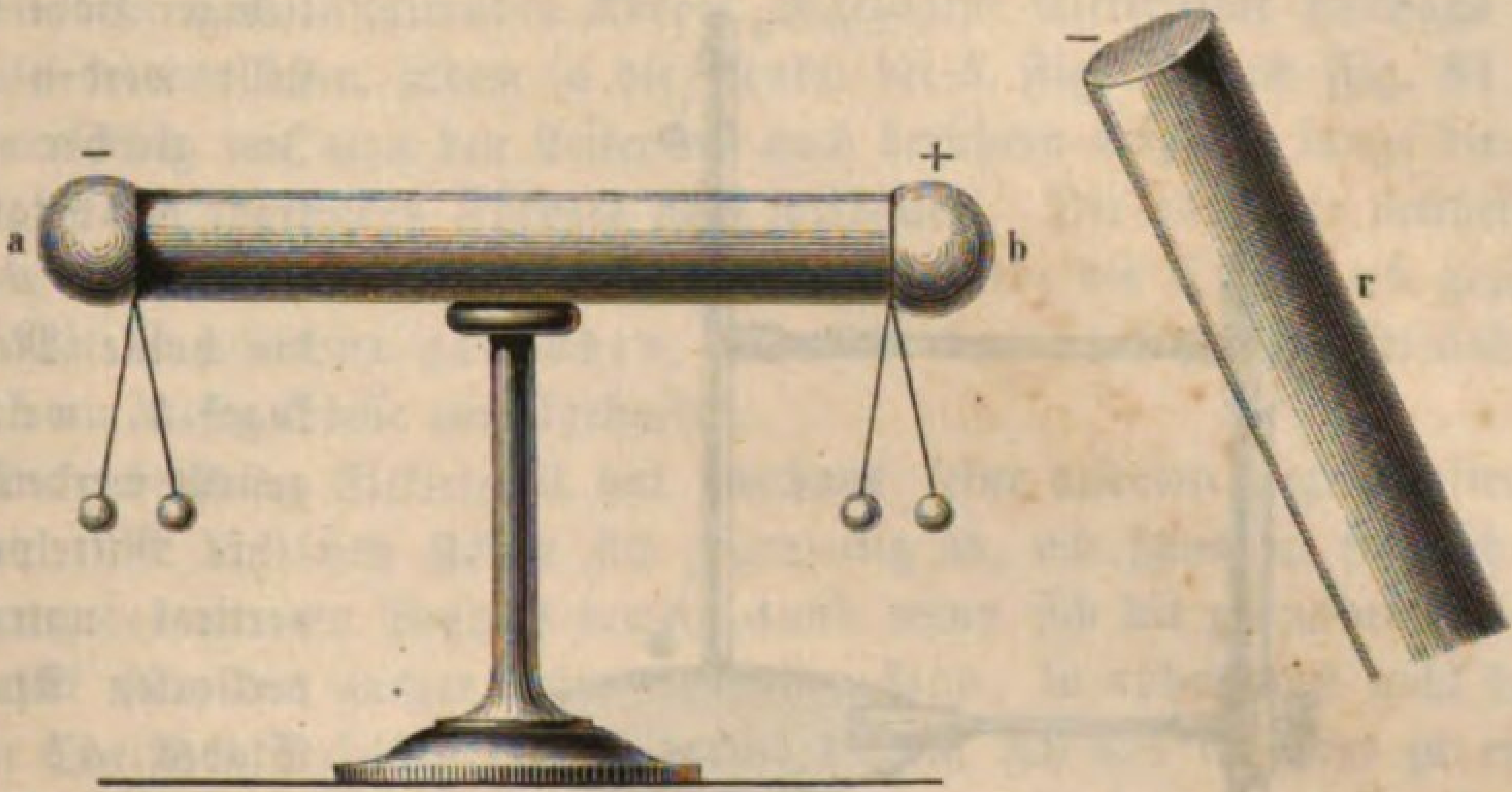


Fig. 80.



welches an einem langen Stäbchen von Schellack oder einem überfirnißten ganz dünnen Glasstäbchen befestigt ist. Berührt man mit diesem Scheibchen den isolirten Leiter bei *a*, während der negativ elektrische Körper *r* sich in der Nähe befindet, so wird sich das Probescheibchen mit der hier angehäuften Elektricität laden, und welche Elektricität dies sei, erfährt man, wenn man es einem an einem Seidenfaden hängenden, etwa mit negativer Elektricität geladenen Hollundermarkkügelchen nähert. Dasselbe wird in unserem Falle von dem Probescheibchen abgestoßen, weil es sich bei *a* mit — *E* geladen hat.

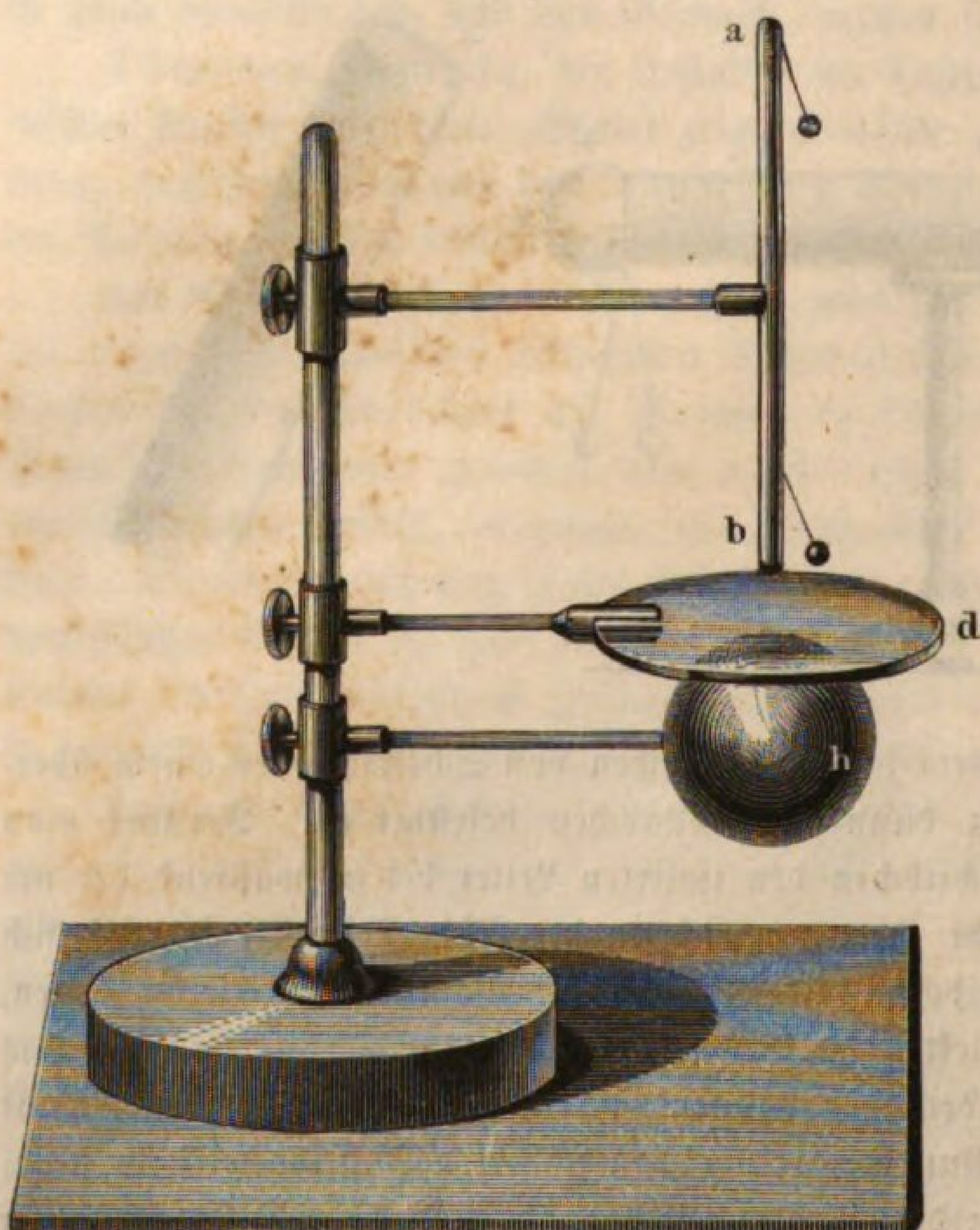
Um die bei *a* und *b* durch die vertheilende Wirkung des elektrischen Körpers *r* frei gewordene Elektricität auch ohne Probescheibchen nachzuweisen, brachte Biot an den Enden des isolirten Leiters elektrische Doppelpendel an (an leinenen Fäden hängende Hollundermarkkügelchen), welche augenblicklich divergiren, sobald man einen elektrischen Körper *r* nähert; die Pendel bei *b* divergiren, weil beide Kugeln mit der durch *r* angezogenen, die bei *a* weil sie mit der von *r* abgestoßenen Elektricität geladen sind.

Als vertheilenden Körper kann man statt des Harzcylinders *r* auch den (positiv elektrischen) Conductor einer Elektrisirmaschine anwenden, dessen kräftigere Wirkung dann auch hinreicht, um die vertheilende Wirkung an einem isolirten Leiter *ab* nachzuweisen, welcher mehrere Fuß lang ist.

In dieser Form gelingt aber der Versuch nicht immer, weil die Pendel bei *b* durch die Einwirkung von *r* stark aus der verticalen Richtung abgelenkt und gegen *r* hingezogen werden, wodurch in der That Mißverständnisse veranlaßt wurden. Rieß hat dem Fundamentalversuche der elektrischen Vertheilung eine zweckmäßigere Form gegeben, durch welche alle Einwürfe beseitigt sind. Fig. 81 stellt den Rieß'schen Vertheilungsapparat in $^1/_5$ der natürlichen Größe dar.

Ein cylindrischer Messingstab *a b* ist mittelst eines wohl isolirenden Glasarmes vertical stehend an einem passenden Statif so angebracht, daß er auf und niedergeschoben und in beliebiger Höhe festgestellt werden kann. In gleicher Weise trägt das Statif die Glasscheibe *d* und die hohle Messingkugel *h*, welche so gestellt werden, daß ihre Mittelpunkte vertical unter der verticalen Axe des Stabes *a b* stehen und daß der Abstand der Kugel von dem Stabe ungefähr $\frac{1}{2}$ Zoll beträgt und die Glasscheibe frei zwischen ihnen steht.

Fig. 81.



An dem oberen und unteren Ende des Metallstabes *a b* sind an zolllangen Leinenfäden hängend zwei Hollundermarkkügelchen angebracht, welche sogleich von dem Metallstabe, an welchem sie sonst anliegen, abgestoßen werden, sobald man der Kugel *h* Elektricität mittheilt. Nähert man aber den abgestoßenen Pendeln eine geriebene Siegellackstange, so wird das eine von derselben angezogen, das andere wird abgestoßen, ein Beweis, daß das eine Pendel mit positiver, das andere mit negativer Elektricität geladen ist. Nehmen wir z. B. an, man habe die Kugel *h* mit positiver Elektricität geladen, so wird man finden, daß das obere Pendel bei *a* gleichfalls positiv elektrisch ist, während das untere bei *b* hingegen mit negativer Elektricität geladen ist.

Ein durch Vertheilung elektrisirter Körper wirkt seinerseits auch wieder vertheilend auf andere, die ihm hinlänglich genähert werden, die sich also in seiner Wirkungssphäre befinden, und diese Wirkungen können sich auf ziemliche Entfernungen fortpflanzen.

Setzt man den durch Vertheilung elektrisch gemachten isolirten Leiter *a b*, Fig. 79, mit dem Boden in leitende Verbindung, indem man ihn etwa mit dem Finger berührt, während die vertheilende Wirkung von *r* noch fortdauert, so fallen die Pendel bei *a* zusammen, während die Pendel bei *b* noch etwas weiter divergiren. Ebenso wird das obere Pendel am Stabe, Fig. 81, an den

Stab herabfallen, das untere noch mehr steigen, wenn man den Stab ableitend berührt. Man kann also diejenige Elektricität, welche mit derjenigen des vertheilenden Körpers (*r* Fig. 79, oder *h* Fig. 81) gleichnamig ist, ableiten, während die von dem influirenden Körper angezogene Elektricität durchaus nicht abgeleitet werden kann, indem ja die Pendel bei *b* Fig. 79 und Fig. 81 nicht zusammenfallen, wie man den Leiter *ab* auch berühren mag, so lange die Einwirkung des vertheilenden Körpers noch fortdauert. Die durch die vertheilende Wirkung der elektrischen Kugel *h* in das untere Ende des Stabes *ab* gezogene Elektricität ist also hier gebunden, sie wird eben durch die Elektricität der Kugel *h* an dieser Stelle zurückgehalten.

Die gebundene Elektricität hat durchaus keine anderen Eigenschaften als die freie; ihre Theilchen stoßen sich gegenseitig ab, wie schon die fortwährende Divergenz des unteren Pendels beweist, und wenn sich die gebundene Elektricität nicht über den ganzen Leiter verbreiten kann, so rührt das nicht daher, daß die Theilchen derselben kein Bestreben hätten, sich von einander zu entfernen, es rührt nicht von einem Mangel am Propagationsvermögen her, sondern daher, daß der Kraft, mit welcher sich die Theilchen der gebundenen Elektricität gegenseitig abstoßen, und vermöge welcher sie sich über den ganzen Leiter verbreiten würden, durch die von den vertheilenden Körpern ausgehende Anziehung das Gleichgewicht gehalten wird.

Die oben beschriebenen Anziehungserscheinungen finden durch die Gesetze der elektrischen Vertheilung nun auch ihre Erklärung. Wenn einem Körper, der sich in einem natürlichen Zustande befindet, ein elektrischer genähert wird, so werden seine Elektricitäten zerlegt. Dies ist nun auch bei dem Korkkügelchen des einfachen elektrischen Pendels der Fall. Ist es an einem Seidenfaden aufgehängt, so kann die abgestoßene *E* nicht aus dem Kügelchen entweichen, sie wird auf die hintere Seite des Kügelchens getrieben, während sich die angezogene auf der Vorderseite anhäuft. Weil aber die angezogene *E* dem Körper, von welchem die Wirkung ausgeht, näher ist, so ist die Anziehung stärker als die Abstoßung; die Kraft, welche das Kügelchen gegen den elektrischen Körper hintreibt, ist der Differenz dieser beiden entgegengesetzten Kräfte gleich, darum wird auch hier erst bei sehr geringer Entfernung des elektrischen Körpers eine Anziehung erfolgen. Weit energischer ist die Wirkung, wenn das Kügelchen an einem leitenden Faden aufgehängt ist, weil alsdann die abgestoßene *E* entweichen kann und durch sie die Anziehung nicht geschwächt wird.

Ein Kügelchen von Schellack wird bei Annäherung eines elektrischen Körpers nicht angezogen, weil der genäherte Körper nur sehr schwer Vertheilung in demselben hervorbringen kann. Es ist dies eine Erscheinung, welche der ganz analog ist, daß ein Magnet in einem Stück weichen Eisen eine magnetische Vertheilung hervorbringt, in einem Stück Stahl aber ungleich schwieriger.

Elektroskope und Elektrometer. Das Princip der elektrischen 36
Vertheilung liefert uns ein vortreffliches Mittel zur Construction von Elektroskopen, d. h. von Apparaten, vermittelst deren man auch schwächere elektri-

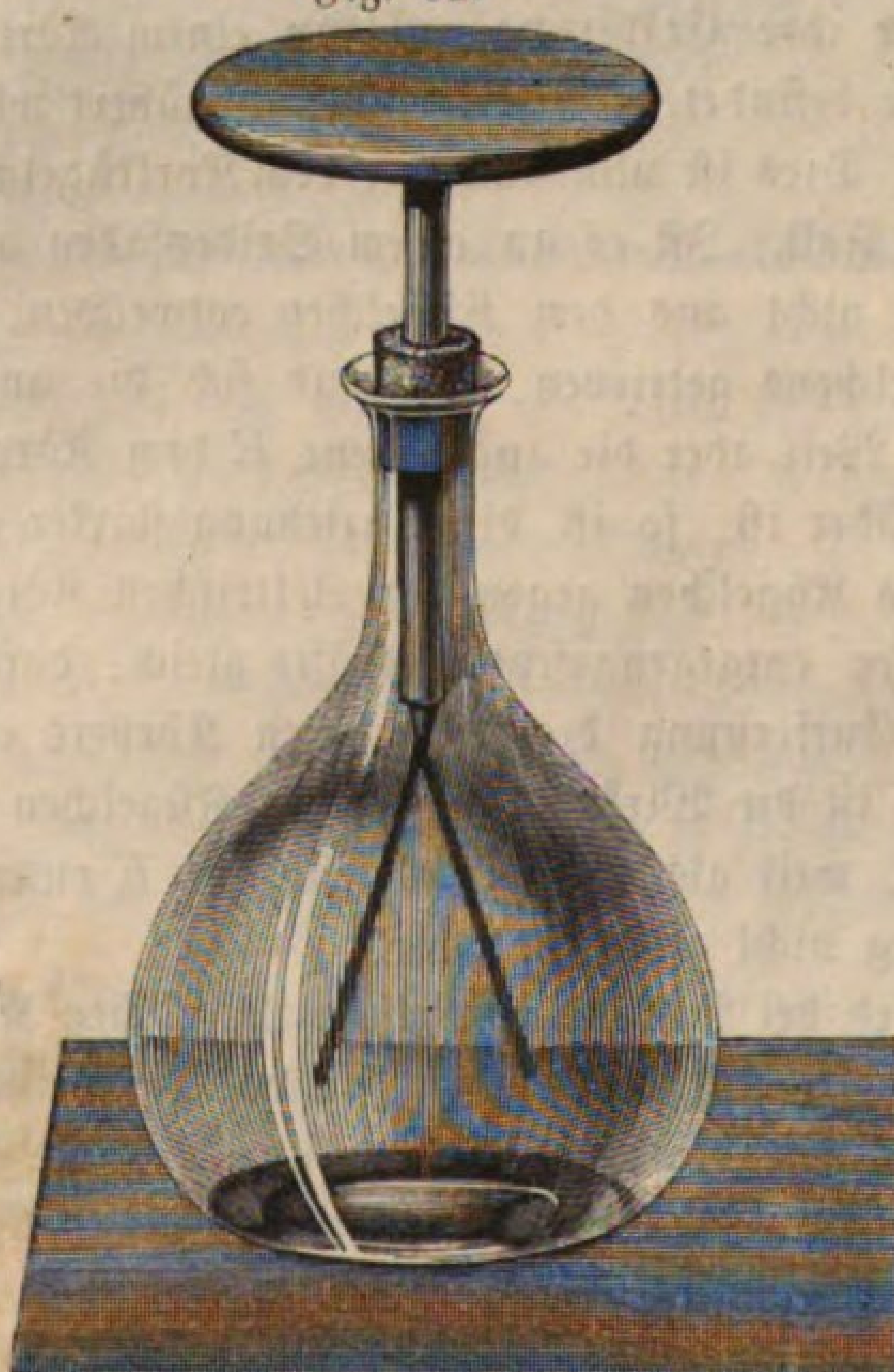
sche Ladungen nachweisen kann. Wenn am unteren Ende eines isolirten Metallstabes ein Paar elektrische Pendel hängen, so divergiren diese, sobald man von oben her einen elektrischen Körper nähert. Um aus einer solchen Vorrichtung ein brauchbares Elektroskop zu machen, hat man vor Allem dafür zu sorgen, daß die Pendel sich in einem Glasgefäße befinden, damit störende Luftströmungen von ihnen abgehalten werden, und dann, daß das leitende System, welches die Pendel trägt, gehörig isolirt sei.

Bei Franklin's Elektroskop bestanden die Pendel aus zwei einfachen Leinfäden. Canton versah diese Fäden mit Korkkügelchen, um sie besser zu spannen. Saussüre wandte als elektrische Pendel seines Elektroskops zwei feine Silberdrähte mit unten angesteckten Hollundermarkkügelchen an. Volta ersetzte diese Silberfäden durch gerade, ganz feine Strohhälmchen, und Bennet endlich setzte an die Stelle der Strohhalme zwei schmale Streifchen von Blattgold.

Aus dem Grade der Divergenz der Pendel kann man auf die Stärke ihrer elektrischen Ladung schließen, und deshalb nennt man solche Elektroskope auch Elektrometer, und zwar namentlich, wenn sie mit einem Gradbogen versehen sind, an welchem man die Größe der Divergenz ablesen kann.

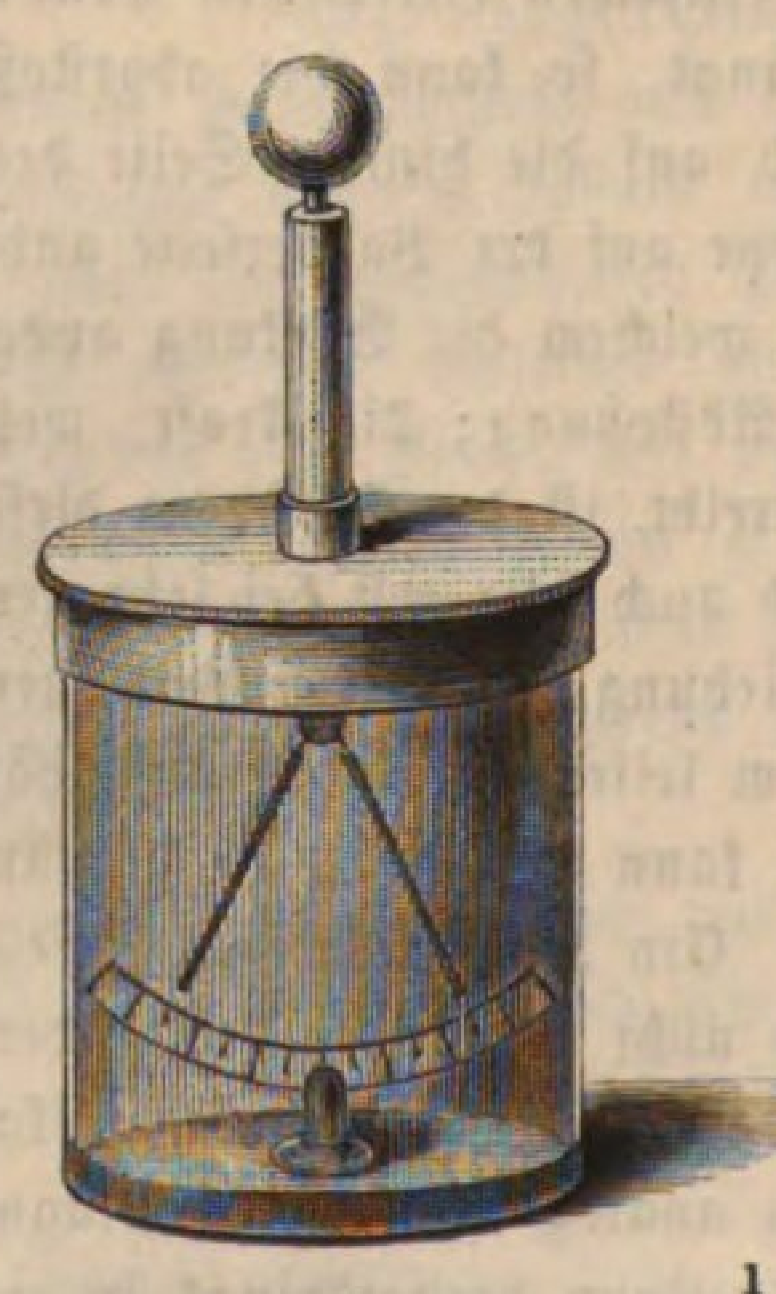
Fig. 82 stellt ein Goldblattelektroskop, Fig. 83 ein Strohhalmelektrometer dar.

Fig. 82.



1/3

Fig. 83.



1/3

Bei den beiden hier abgebildeten Instrumenten ist die Isolation des Messingstäbchens, an welchem unten die Pendel hängen, dadurch bewirkt, daß es

in einer Glasröhre steckt. An dem oberen Ende dieses Zuleitungsstäbchens ist nun entweder eine Metallplatte angeschraubt, wie Fig. 82, oder eine kleine Kugel, wie Fig. 83.

Man kann das zuleitende Messingstäbchen entweder dadurch in der Glasröhre befestigen, daß man es mit Siegellack in derselben einkittet, oder daß man, nach Buff's Vorschlag, das Stäbchen an zwei Stellen mit Seide so dick umwickelt, daß es in die vorher Innen und Außen mit Schellack gefirnißte Röhre eingeschoben, mit einiger Reibung noch auf- und niedergeschoben werden kann.

Ganz vorzüglich ist die Isolirung an den kleinen Kugelelektrometern Fig. 84, welche vorzugsweise von verschiedenen Berliner Mechanikern angefertigt werden.

Fig. 84.



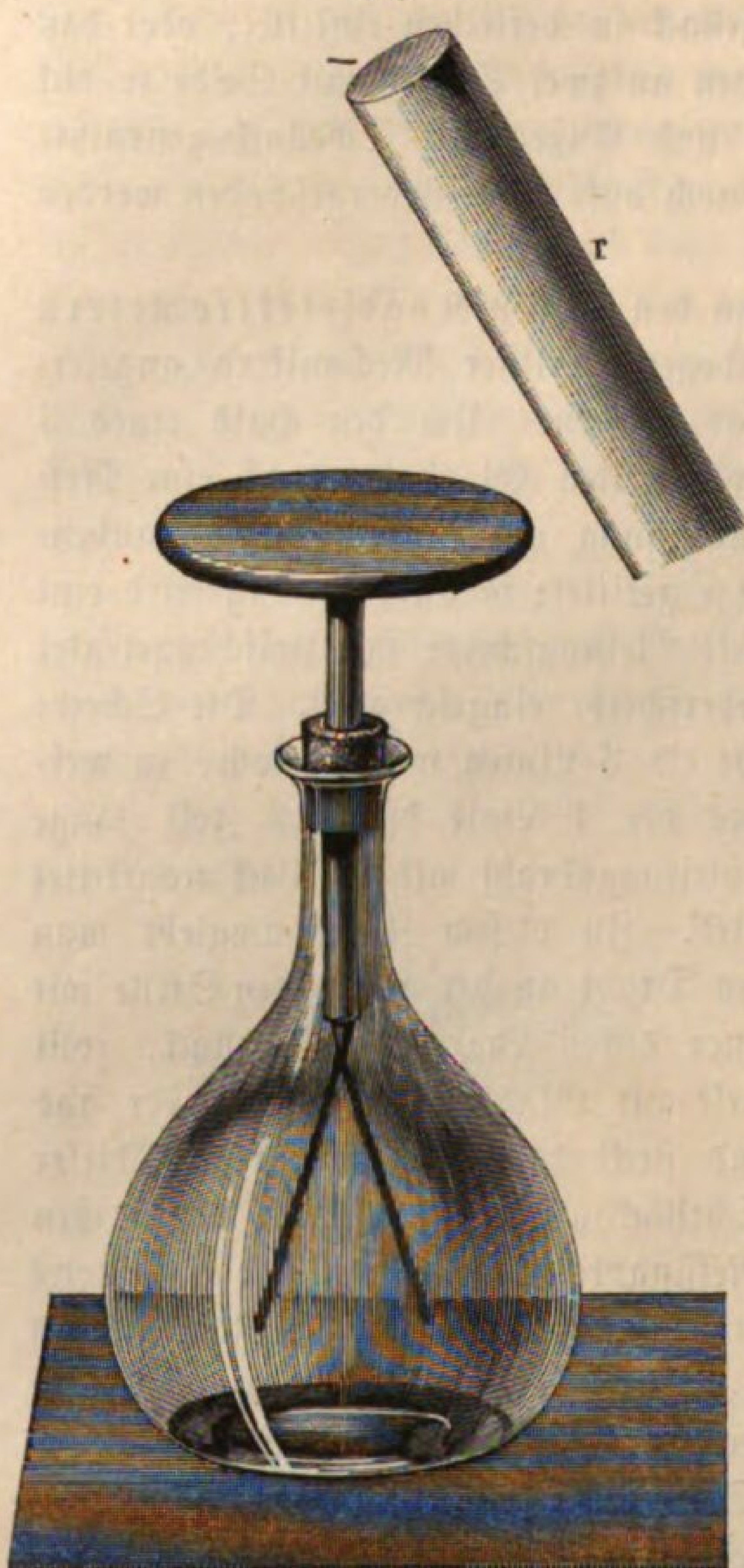
Um den Hals eines 3 Zoll weiten Glasballons ist eine Messingfassung mit innerlichem Schraubenzuge gekittet; in diese Fassung wird eine dicke Messingscheibe mit zwischengelegter Lederscheibe eingeschraubt. Die Scheibe hat ein 3 Linien weites Loch, in welches der 1 Linie dicke, 2 Zoll lange Zuleitungsdraht mit Schellack eingekittet wird. Zu diesem Zweck umgiebt man den Draht an der geeigneten Stelle mit einer dicken Lage von Schellack, rollt diese auf Glas zu einem Cylinder aus und steckt dann den Draht mit dieser Schellackhülle in das Loch der heißen Messingplatte. Innerhalb des Ballons endigt der Draht mit einer Zuschärfung, an welcher die 1 Zoll langen Goldblättchen befestigt sind, welche selbst bei der stärksten Divergenz die Glaswand nicht berühren können. Den Flächen der Goldblättchen gegenüber befinden sich an der Außenseite des Ballons Stanniolstreifen, welche die Messingfassung mit dem Fuße des Elektroskops verbinden. Der Ballon muß innerlich sehr trocken sein und wird deshalb mäßig erwärmt, ehe man die Messingplatte luftdicht aufschraubt.

Ein sorgfältig verfertigtes Elektroskop dieser Art ist im Stande, eine mäßige Ladung Stunden lang zu halten.

Wenn man untersuchen will, von welcher Natur die Elektricität irgend eines Körpers sei, so muß das Elektroskop schon im Voraus mit einer bekannten Elektricität geladen werden; dies geschieht, indem man einen Körper *r*, Fig. 85 (a. f. S.), von bekannter Elektricität nähert und die Platte mit dem Finger berührt. Dadurch wird alle abgestoßene Elektricität abgeleitet, und im Apparate bleibt nur die angezogene, welche auf der Platte angehäuft ist. Sie ist hier gewissermaßen gebunden, d. h. sie kann sich nicht entfernen, weil sie durch *r* angezogen wird; deshalb divergiren die Blättchen nicht; sobald man aber erst den

Finger und dann den Körper *r* entfernt, divergiren die Pendel, weil nun die Elektricität, welche durch den Körper *r* in der Platte gebunden worden war, sich frei über das ganze isolirte System, also auch über die Blättchen verbreitet.

Fig. 85.



Die Elektricität, mit welcher auf diese Weise das Elektroskop geladen wird, ist natürlich die entgegengesetzte des Körpers *r*; wenn man also eine negative Ladung bezweckt, so kann man eine mit Seide geriebene Glasstange anwenden, indem diese positiv elektrisch ist.

Nähert man dem so geladenen Elektroskop einen elektrischen Körper, so wird dadurch die Divergenz der Pendel entweder vergrößert oder verkleinert werden. Sie wird vergrößert, wenn die *E* des zu untersuchenden Körpers mit derjenigen gleichnamig ist, welche man dem Apparate mitgetheilt hatte, denn durch seine Annäherung werden die Elektricitäten des Elektroskops noch vollständiger zersetzt, als es schon vorher der Fall war, es wird noch mehr von der Elektricität, welche schon in den Pendeln war, in dieselben heruntergetrieben, ihre Divergenz muß also zunehmen.

Wenn der genäherte Körper mit derjenigen *E* ungleichnamig ist, welche man dem Elektroskope mitgetheilt hatte, so nimmt die Divergenz ab, weil die Elektricität jetzt aus dem Pendel weg und in die Platte gezogen wird. Wenn man den Apparat mit irgend einer *E* geladen hat, so befinden sich doch noch unzersetzte Elektricitäten im Apparate, die durch den genäherten Körper zersetzt werden; ist nun die *E* des genäherten Körpers mit der im Elektroskope vorhandenen ungleichnamig, so wird die schon vorhandene in die Platte gezogen, die andere in die Pendel getrieben, die Divergenz muß also abnehmen. Bei einer bestimmten Entfernung des genäherten Körpers werden sich die Elektricitäten in den Pendeln gerade neutralisiren, die Pendel werden vollständig zusammenfallen. Wenn man den zu prüfenden Körper noch mehr nähert, so divergiren die Pendel von Neuem, aber nun mit der entgegengesetzten von der *E*, welche sie vorher divergiren machte.

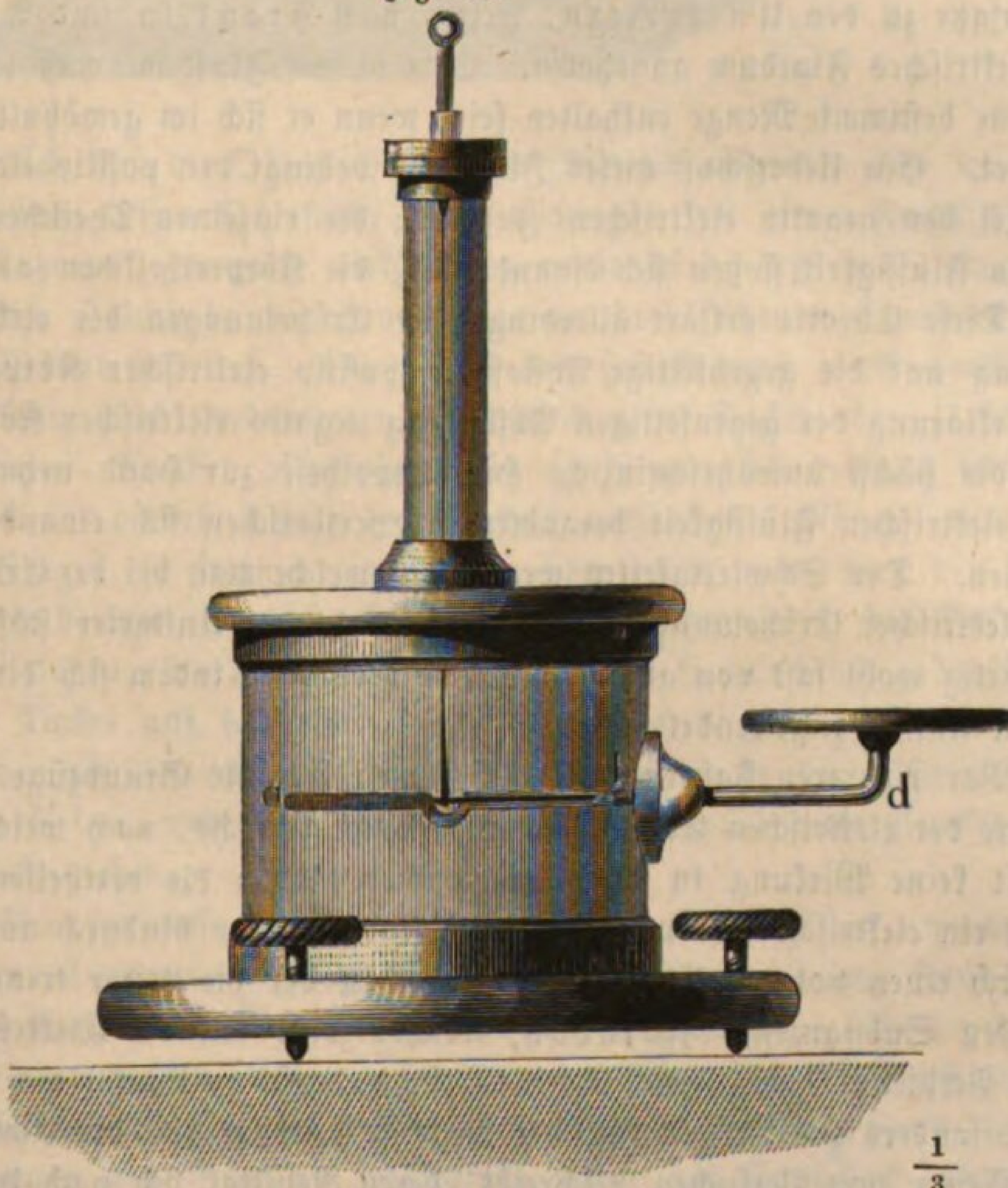
Wenn man einem geladenen Elektroskope einen nicht elektrischen Leiter

nähert, so nimmt die Divergenz der Pendel ebenfalls ab. Es ergiebt sich dies leicht als nothwendige Folge der Gesetze der elektrischen Vertheilung.

Elektrometer nach dem Principe der Drehwage haben Peltier, Oersted, Dellmann und Romerhausen bekannt gemacht. Vor allen hat Dellmann diesem Instrumente bei großer Einfachheit der Construction eine außerordentliche Empfindlichkeit zu geben gewußt. Kohlrausch endlich hat das Dellmann'sche Elektrometer auch noch in ein zu genauen Messungen geeignetes Instrument umgewandelt (Poggendorff's Annal. Bd. LXXII.).

Fig. 86 stellt ein nach dem Principe der Drehwage construirtes Elektrometer dar. An einem Coconfaden hängt, mittelst etwas Schellack daran be-

Fig. 86.



festigt, ein feiner gerader metallener Wagebalken. Er senkt sich mit seiner Mitte in den Ausschnitt eines aus Messing- oder Silberblech verfertigten Streifchens *ab*; die eine Hälfte desselben ist ein klein wenig nach vorn, die andere etwas zurückgebogen, so daß sich der metallische Wagebalken der Länge nach, und zwar mit seiner einen Hälfte an die eine, mit der anderen an die andere Seite des Streifchens *ab* anlegen kann. Der obere Theil der Vorrichtung wird so gedreht, daß der Wagebalken durch die Torsion des Fadens an den Streifen *ab* ganz schwach angedrückt wird.

Ein Messingdraht *bd* geht isolirt durch eine in die Seitenwand des Ge-

fäßes gebohrte Oeffnung und wird durch eine aufgekittete Fassung von Holz oder Metall gehalten. Innerhalb des Gefäßes trägt er das Streifchen *ab*, außerhalb eine Condensatorplatte oder eine kleine Metallkugel.

Sobald dem Draht *bd* die geringste Menge Elektricität mitgetheilt wird, geht ein Theil derselben auf den Wagebalken über, welcher nun vom Streifchen *ab* abgestoßen wird und, in Ruhe gekommen, einen um so größeren Winkel mit *ab* macht, je stärker die Ladung war.

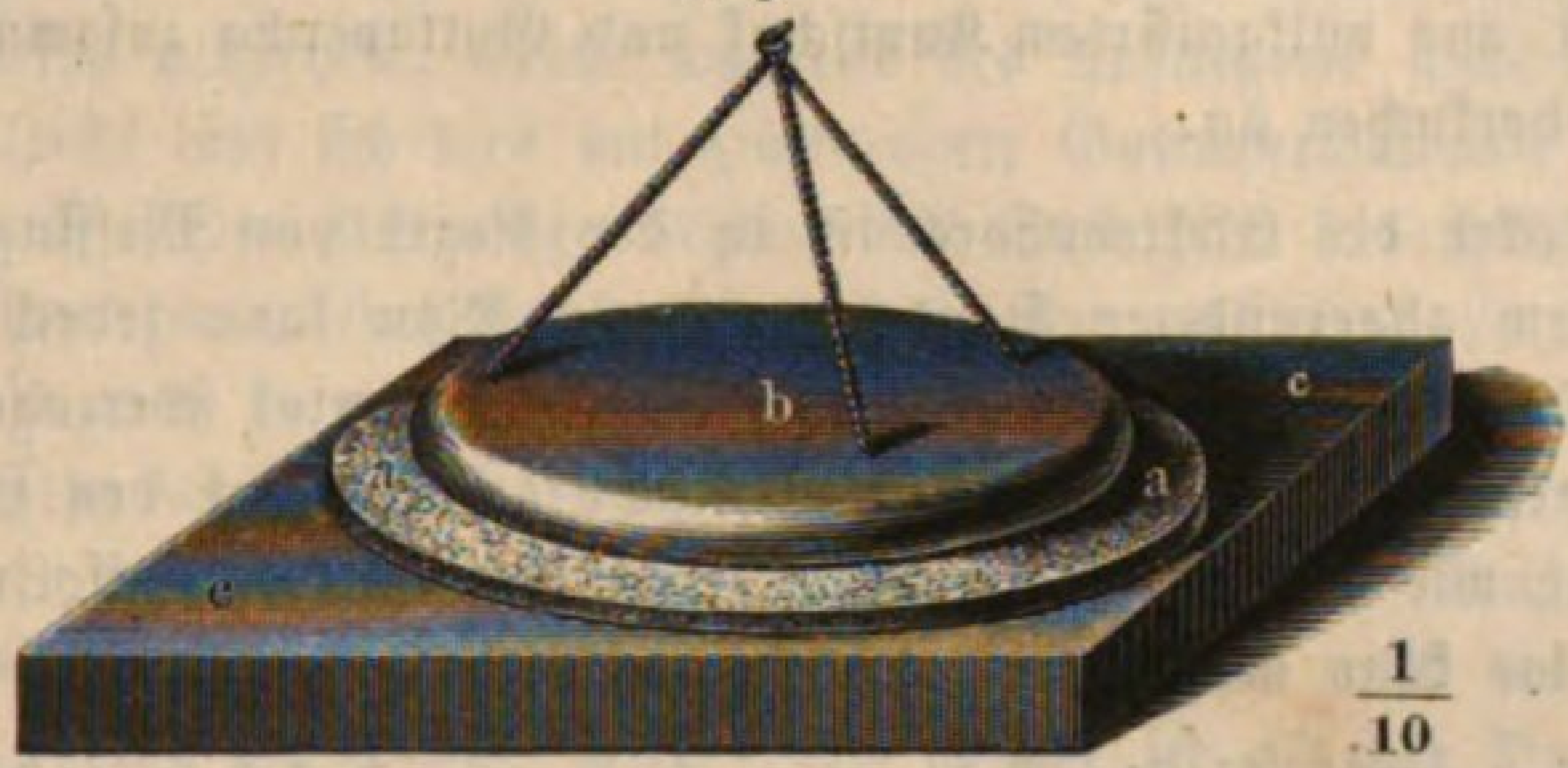
37 **Dualisten und Unitarier.** Die Anhänger der bisher entwickelten Theorie, nach welcher es zwei verschiedene elektrische Fluida giebt, an deren Spitze Symmer steht, werden mit dem Namen der Dualisten bezeichnet, im Gegensatze zu den Unitariern, welche nach Franklin und Aepinus nur ein elektrisches Fluidum annehmen. Von diesem Fluidum muß in jedem Körper eine bestimmte Menge enthalten sein, wenn er sich im gewöhnlichen Zustande befindet. Ein Ueberschuß dieses Fluidums bedingt den positiv elektrischen, ein Mangel den negativ elektrischen Zustand; die einzelnen Theilchen dieser elektrischen Flüssigkeit stoßen sich einander ab, die Körpertheilchen aber ziehen sie an. Diese Theorie erklärt allerdings die Erscheinungen der elektrischen Vertheilung und die gegenseitige Abstoßung positiv elektrischer Körper ganz gut, zur Erklärung der gegenseitigen Abstoßung negativ elektrischer Körper muß sie aber die höchst unwahrscheinliche Hülfshypothese zur Hand nehmen, daß die aller elektrischen Flüssigkeit beraubten Körpertheilchen sich einander gleichfalls abstoßen. Der Schwierigkeiten wegen, auf welche man bei der Erklärung mancher elektrischer Erscheinungen nach der Theorie der Unitarier stößt, ist sie gegenwärtig wohl fast von allen Physikern verlassen, indem sich diese der dualistischen Ansicht zugewendet haben.

Vor mehreren Jahren hat auch Faraday die Grundzüge einer neuen Theorie der elektrischen Erscheinungen bekannt gemacht, nach welcher die Elektricität keine Wirkung in die Ferne ausüben soll; die vertheilende Wirkung, welche ein elektrischer Körper durch isolirende Körper hindurch ausübt, erklärt er durch einen polaren Zustand der Theilchen der die Leiter trennenden nichtleitenden Substanzen. Faraday, welcher sonst um die Elektricitätslehre so große Verdienste hat, entwickelt seine Ansicht ebenso weitläufig als unklar. Was aber besonders zur Verwirrung der Begriffe beiträgt, ist der Umstand, daß er eine Menge von Versuchen beschreibt, deren Resultat sich nach den bisherigen Ansichten voraussehen ließ, während er sie doch als Argumente gegen dieselben anführt. Da Faraday's neue Theorie in ihrer jetzigen Form wenigstens noch nicht im Stande ist, eine eben so klare Uebersicht der elektrischen Erscheinungen zu geben, wie die bisher entwickelte, so kann hier wohl eine nähere Besprechung derselben unterbleiben.

38 **Das Elektrophor** ist einer der wichtigsten elektrischen Apparate und kann in vielen Fällen selbst die Elektrisirmaschine ersetzen. Es ist von Wilke erfunden und von Volta verbessert worden. Es besteht aus einem Harz-

kuchen *a*, Fig. 87, welcher in eine metallene Form, gleichsam einen Teller von Metall, gegossen ist, oder auch nur, wie es unsere Figur zeigt, auf eine metallische Unterlage (ein mit Stanniol überzogenes Brett) *c* frei aufgelegt wird. Es

Fig. 87.



ist sehr wesentlich, daß die Oberfläche des Harzkuchens möglichst eben sei. Auf diesen Harzkuchen, dessen Oberfläche durch Schlagen mit einem Fuchsschwanze oder einem Katzenpelze negativ elektrisch gemacht wird, setzt man einen mit einer isolirenden Handhabe versehenen oder an drei seidenen Schnüren hängenden Metalldeckel frei auf. Die — *E* des Harzkuchens wirkt vertheilend auf die bis dahin noch verbundenen Elektricitäten im Deckel, die + *E* wird angezogen, die — *E* aber abgestoßen; die + *E* wird sich deshalb im unteren, die — *E* im oberen Theile des Deckels anhäufen. Nähert man dem Deckel einen Finger, so springt ein Funken über, und wenn man den Deckel mit dem Finger berührt, so wird alle — *E* sich entfernen und der Deckel sich nur mit + *E* laden, die aber durch die — *E* des Harzkuchens gebunden ist, so lange der Deckel auf demselben liegen bleibt. Hebt man aber den Deckel von dem Kuchen ab, indem man ihn an den Schnüren in die Höhe zieht, so wird diese + *E* frei, und man kann nun aus dem Deckel einen Funken positiver Elektricität ziehen.

Als Elektrophormasse wendet man gewöhnlich Schellack an, welchem so viel Wachs oder Terpentin zugesetzt wird, daß die Masse weniger spröde wird (etwa 1 Theil Wachs oder Terpentin auf 5 Theile Schellack). Böttger empfiehlt, als sehr wirksam und wenig spröde, eine Masse aus 5 Gewichtstheilen Schellack, 5 Theilen Mastix, 2 Theilen venetianischen Terpentin und 1 Theil Marineleim (einer aus Schellack, Steinkohlentheer und Kautschuk bestehenden Masse).

Wenn die Harzmasse in einen Teller von Blech eingegossen wird, so bekommt das Elektrophor leicht Risse, weil sich bei Temperaturveränderungen das Metall stärker ausdehnt und zusammenzieht als das Harz; deshalb ist es besser, den Harzkuchen frei auf die leitende Unterlage aufzulegen, wie unsere Figur zeigt; nur muß man bei dieser Vorrichtung dafür Sorge tragen, daß der Elektrophorkuchen stets auf einer ebenen Unterlage aufliegt, weil er sich sonst krümmt, wenn die Masse bei heißem Wetter weich wird.

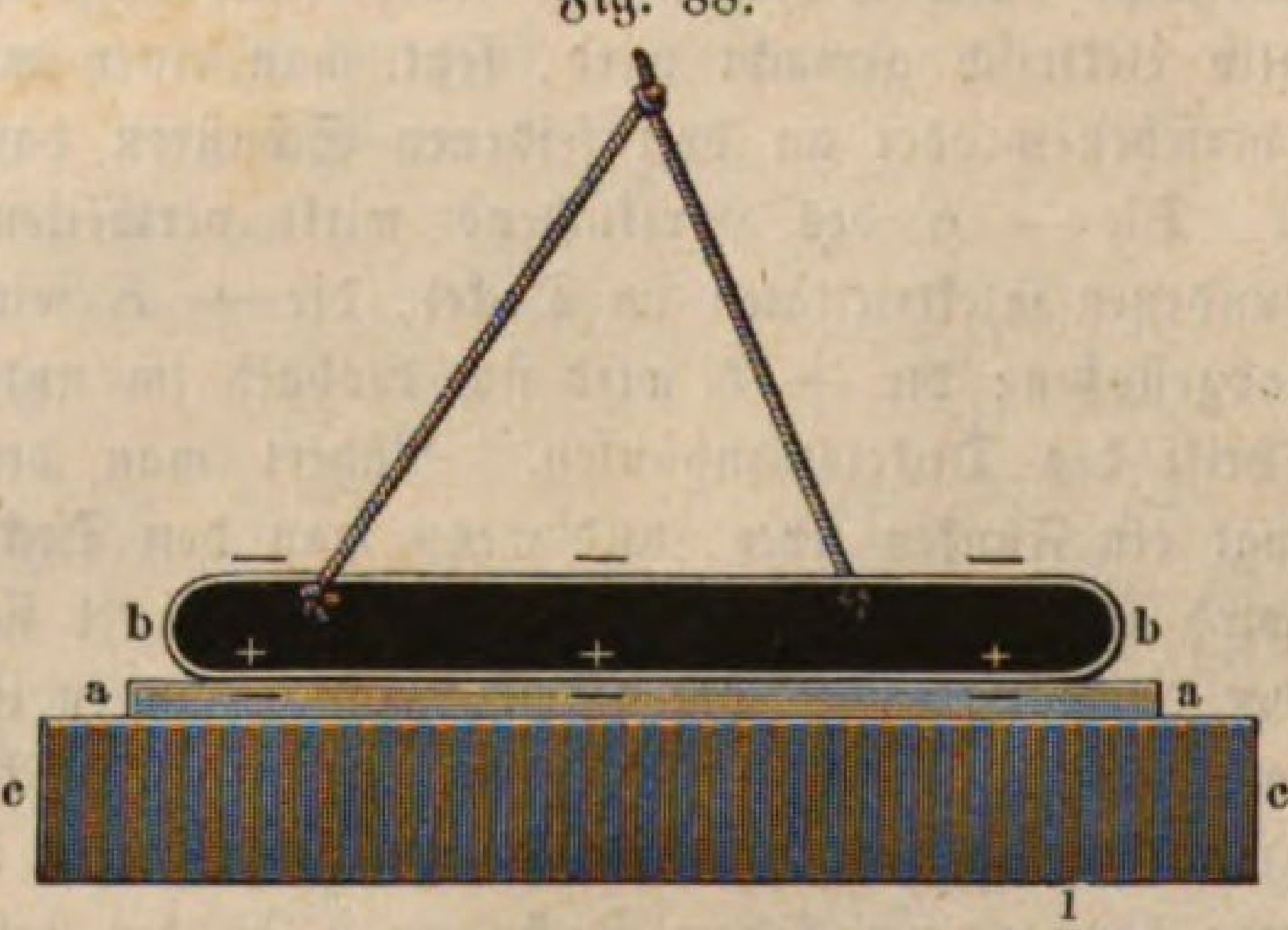
Statt der Harzkuchen hat man auch Platten von Guttapercha für

Elektrophore angewandt, dieselben haben sich aber nicht gut bewährt, indem die Guttapercha sehr veränderlich ist und leicht ihre elektrischen Eigenschaften verliert. Dagegen wendet man mit dem besten Erfolge gehärtetes Kautschuk (die Masse, aus welcher die Kautschukkämme verfertigt werden und welche, so viel ich weiß, aus vulkanisirtem Kautschuk und Guttapercha zusammengesetzt ist) als Elektrophorkuchen an.

Der Deckel des Elektrophors ist in der Regel von Messing oder Zinn und mit einem abgerundeten Rande versehen. Man kann jedoch auch Deckel von Glas, Holz oder Pappe anwenden, die mit Stanniol überzogen sind; nur muß dafür gesorgt sein, daß die untere Fläche, welche auf den Harzkuchen zu liegen kommt, wie dieser selbst, möglichst eben ist. Statt der isolirenden Handhabe von Glas kann man den Deckel an drei Schnüren von Seide aufhängen.

Eine der zweckmäßigsten Arten, den Elektrophordeckel herzustellen, ist die, daß man denselben aus Zinkblech in der Weise herstellt, wie Fig. 88 andeutet, so daß er innen hohl ungefähr 1 Zoll dick ist. Bei dieser Form des Deckels lassen sich besonders die Schnüre gut anbringen, welche aber natürlich schon eingezogen werden müssen, bevor man die zwei Stücke zusammen löthet, aus denen der Deckel besteht. In unserer Figur ist auch noch die Vertheilung der Elektricität angedeutet, welche in den Deckel eintritt, wenn man denselben auf die negativ elektrische Harzplatte aufsetzt, ohne ihn ableitend zu berühren.

Fig. 88.



Wir haben eben nur gezeigt, wie es kommt, daß dem Deckel des Elektrophors eine Ladung positiver Elektricität ertheilt werden könne, ohne daß die Rede davon war, welche Rolle die Form oder die untere Metallplatte dabei spielt. Wenn man den Harzkuchen auf eine isolirende Unterlage, etwa auf eine Glastafel, legte, so würde es nicht möglich sein, so starke Ladungen zu erhalten, wie es der Fall ist, wenn der Kuchen eine leitende Unterlage hat. Durch das Schlagen mit dem Pelze kann nämlich nur noch so lange Elektricität entwickelt werden, bis eine gewisse Grenze der Ladung des Kuchens erreicht ist, über welche Grenze hinaus jede neu entwickelte $-E$ des Kuchens sogleich wieder zu ihrem Gegensatze im Pelz übergehen würde. Wenn aber der Harzkuchen auf einer leitenden Unterlage liegt, so wirkt die $-E$ des Kuchens vertheilend auf dieselbe, die $-E$ der Form wird abgestoßen, die $+E$ angezogen. Die $+E$ der Form aber zieht auch die $-E$ des Kuchens an und

trägt dazu bei, dieselbe auf dem Kuchen zurückzuhalten. Wenn man einen Harzkuchen, der während des Schlagens mit Pelz auf einer leitenden Unterlage gelegen, aufhebt, so wird nun auf einmal alle E frei, welche durch den Einfluß der Unterlage auf dem Harze zurückgehalten war; man kann demselben zahlreiche kräftige Funken entziehen, welche während des Aufliegens nicht übersprangen.

Sehr leicht läßt sich dies mit Hülfe einer Guttaperchaplatte zeigen. Ist sie auf einer leitenden Unterlage liegend mit Tuch oder einem Felle gepeitscht worden, so kann man keine Funken aus ihr ziehen, während sie lange Funken sprüht, sobald man sie von der leitenden Unterlage aufhebt.

Die Gesetze des Elektrophors lassen sich mit Hülfe eines dem Elektroskop Fig. 82 ähnlichen aber weniger empfindlichen Instrumente nachweisen. Man lege auf die Platte des Elektroskops eine Scheibe von Schellack oder auch eine Platte von Guttapercha, deren Durchmesser noch etwas größer ist als der Durchmesser der Metallplatte. Wenn, wie es sein muß, die Schellackscheibe ganz unelektrisch ist, so werden natürlich die Pendel nicht divergiren, sobald man aber die obere Harzfläche mit einem Katzenpelze schlägt, divergiren die Pendel, und zwar mit $-E$, weil durch die $-E$ auf der Oberfläche des Schellacks die $+E$ des Apparates in der Metallplatte gebunden, die $-E$ aber abgestoßen wird. Sobald man nun die Metallplatte des Elektroskops unten mit dem Finger berührt, wird die abgestoßene $-E$ abgeleitet, die Pendel fallen zusammen, in der Metallplatte bleibt aber $+E$ gebunden, was man daraus erkennt, daß die Pendel mit $+E$ divergiren, sobald man die Schellackplatte abhebt, sogleich aber auch wieder zusammenfallen, wenn man sie wieder auflegt.

Die eben beschriebene Anordnung stellt uns ein vollständiges Elektrophor dar, die Schellackscheibe ist der Harzkuchen, die Platte des Elektroskops ist die Form. Bei dieser Form des Versuchs ist es nun, wie wir gesehen haben, leicht, jederzeit den elektrischen Zustand der Form nachzuweisen.

Sobald man auf die obere Fläche der Schellackscheibe eine, durch eine Glasstange isolirte Metallscheibe, welche der Platte des Elektroskops ganz gleich ist und dem Deckel des Elektrophors entspricht, aufsetzt und mit dem Finger berührt, verändern sich die Umstände. In dem Moment, in welchem man aus der oberen Deckelplatte die $-E$ ableitet, so daß sie nur noch $+E$ enthält, wird die $-E$ des Harzkuchens durch die $+E$ im Deckel vollständig beschäftigt, sie kann nicht mehr, wie früher, bindend auf die $+E$ der unteren Platte wirken, welche ja weiter von der geriebenen Oberfläche entfernt ist. In dem Augenblicke, in welchem man die obere Platte mit dem Finger berührt, werden deshalb die Pendel des Elektroskops divergiren, und zwar mit der $+E$, welche bis dahin in der Platte des Elektroskops gebunden war.

Dies erklärt nun auch eine Erscheinung am Elektrophor, welche bisher noch nicht erwähnt wurde. Wenn man nämlich den Deckel gehörig aufgesetzt hat und gleichzeitig mit einem Finger den Deckel, mit einem anderen die Form berührt, so erhält man einen Schlag oder Stoß, der weit heftiger ist, als wenn man nur den Deckel berührte. Es kommt dies daher, daß die $-E$ des Deckels und die frei werdende $+E$ der Form zu einander übergehen.

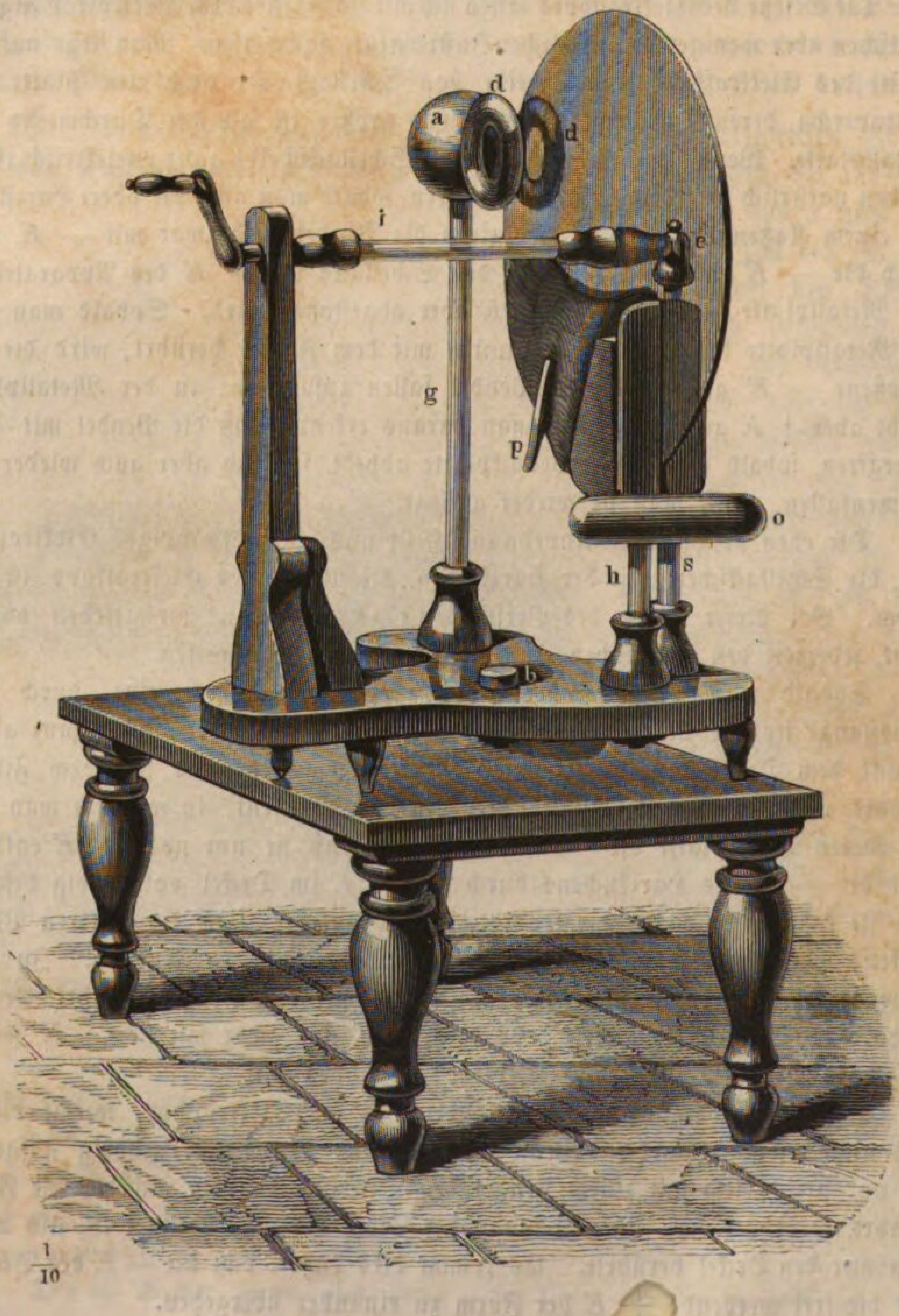
39 **Die Elektrisirmaschine** besteht aus einem reibenden Körper, einem Reibzeuge und einem isolirten Leiter.

Die reibende Fläche ist gewöhnlich ein Leder, welches mit Amalgam überzogen ist.

Der geriebene Körper ist eine Glasscheibe oder ein Glascylinder.

Der isolirte Conductor ist in der Regel ein System von hohlen Cylindern aus Messingblech, an den Enden kugelförmig abgerundet und von gläsernen Säulen getragen, welche mit Schellackfirniß überzogen sind.

Fig. 89.



Man hat der Elektrisirmaschine mancherlei verschiedene Einrichtungen gegeben.

Fig. 89 stellt eine Scheibenmaschine dar, wie sie Winter in Wien construirt, dessen Elektrisirmaschinen, namentlich in Beziehung auf Funkenlänge, Ausgezeichnetes leisten. Die Umdrehungsaxe *i* der Scheibe ist von Glas; sie wird auf der einen Seite durch den Glasfuß *s*, auf der anderen durch eine hölzerne Stütze getragen. Das Reibzeug wird durch die Glassäule *h* getragen.

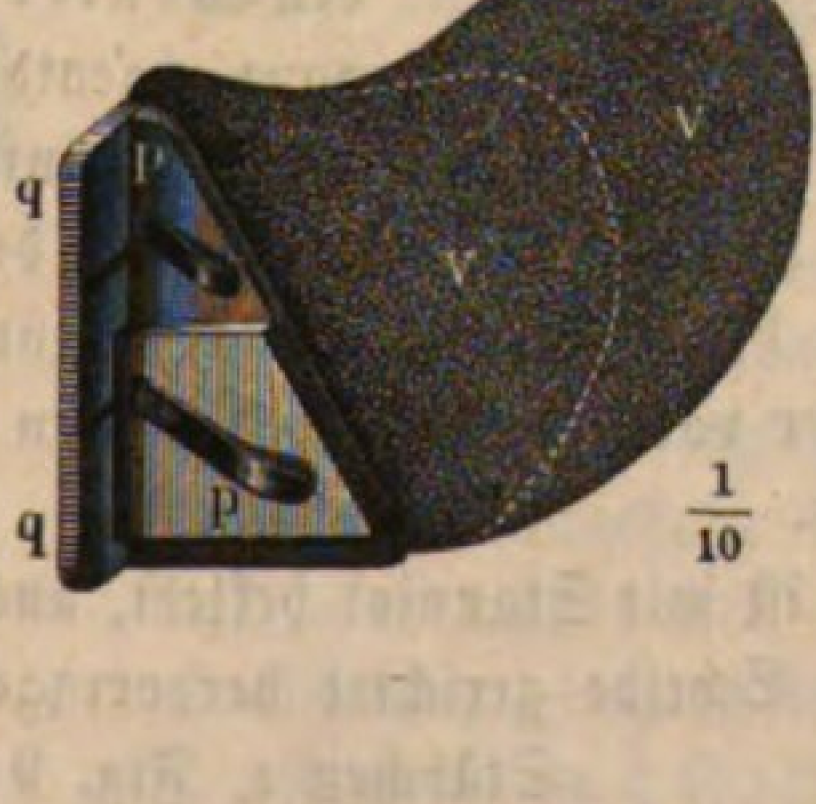
Das Gestell, welches zur Aufnahme des Reibzeuges dient, ist Fig. 90 für sich allein dargestellt. Auf den Glasfuß *h* ist das gabelförmige Holzstück *n* aufgekittet, in welchem auf jeder Seite eine Vertiefung zur Aufnahme des Reibzeuges eingeschnitten ist. Ein an diesem Holzgestell *n n* angebrachter Streifen von Messingblech führt die negative Elektricität des Reibzeuges zu dem Loch *r*, in welches der kleine Conductor *o*, Fig. 89, eingesteckt wird.

Das Reibzeug selbst ist in Fig. 91 dargestellt, und zwar von der Rückseite; *p* ist ein Schieber von Holz, welcher in dem Reibzeuggestell eingeschoben wird; *q* ist eine Leiste, welche das Durchschlüpfen des Reibzeuges verhindert. Auf der Vorderseite des Brettes *p* ist das mit ihm gleichgestaltete amalgamirte Leder befestigt. An dieses Leder setzt sich ein Lappen von Wachstaffent an, welcher nochmals mit Schellack gefirnißt an der Glasscheibe anliegt und das Entweichen der Elektricität auf dem Wege vom Reibzeuge zum Saugapparate *d*, Fig. 89, verhindert. Die auf der Rückseite des Brettes *p* angebrachten Stahlfedern dienen dazu, das Reibzeug gehörig an die Glasscheibe anzudrücken.

Fig. 90.



Fig. 91.



Ein solches Reibzeug, wie das in Fig. 91 dargestellte, wird auf jeder Seite der Glasscheibe angebracht, und zwar ist in unserer Figur dasjenige dargestellt, welches auf der rechten Seite des Trägers Fig. 90 eingeschoben wird.

Der Conductor *a*, Fig. 89, ist von Messingblech verfertigt. Damit die auf dem Conductor *a* angehäufte Elektricität möglichst wenig an der Glassäule *g* abströmen könne, hat derselbe eine schon von Van Marum bei der großen Harlemer Maschine mit Erfolg angewandte Form, die man Fig. 92 (a. f. S.) deutlicher sieht, welche den Conductor *a* im Durchschnitt sammt einem aufgesteckten Holzring zeigt. Die Kugel *a* ist nämlich unten eingezogen.

In den Conductor *a* sind mehrere Blechhülsen eingelöthet; die obere dient, um den Holzring aufzustecken; von der linken Seite her wird bei größeren Maschinen ein Stäbchen eingeschoben, welches eine Kugel von 2 bis 3 Zoll

Durchmesser trägt, während bei kleineren Maschinen ein Stäbchen oder eine Blechhülse eingesteckt wird, welche, wie Fig. 93 zeigt, mit einem

Fig. 92



Fig. 93.

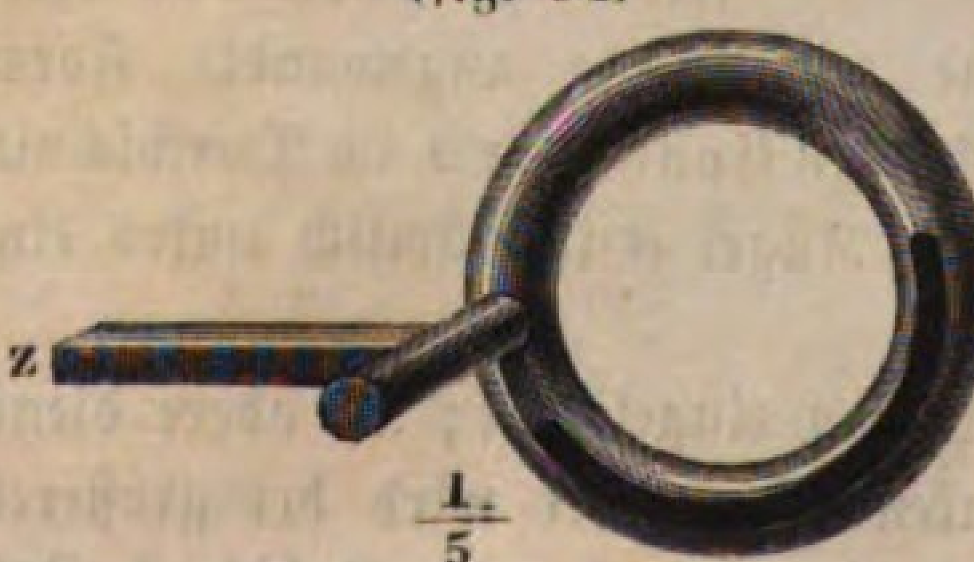


schwach gekrümmten runden Stück von Messingblech endigt. Wenn man kräftige Funken aus dem Conductor ziehen will, so wird das Röhrchen, Fig. 93, so weit eingeschoben, daß das Blech *v* dicht an dem Conductor anliegt, und nur eine unbedeutende Hervorragung an demselben bildet; will man aber irgend einen Gegenstand an den Conductor anhängen oder elektrische Büschel aus demselben ziehen, so wird das Röhrchen, Fig. 93, mit dem Blech *v* mehr oder weniger aus dem Conductor hervorgezogen. — Auf der rechten Seite des Conductors, Fig. 92, wird die Saugvorrichtung eingesteckt.

Diese Saugvorrichtung hat bei den W i n t e r'schen Maschinen eine ganz eigenthümliche, sehr zweckmäßige Einrichtung; sie besteht nämlich aus zwei Ringen von polirtem Holze, welche an der Innenseite, da wo die Scheibe sich zwischen ihnen durchbewegt, mit einer Rinne versehen sind, wie man dies Fig. 94 sieht, wo der vordere Ring weggelassen ist, damit man die Rinne des hinteren sehen kann.

Der Boden dieser Rinne ist mit Stanniol beklebt, aus welchem eine Reihe feiner Nadelspitzen gegen die Scheibe gerichtet hervorragen. Das metallische Stäbchen *z*, Fig. 94, mittelst dessen die Saugvorrichtung an den Conductor angesteckt wird, ist ebenso wie die Hülse, in die es paßt, eckig, damit eine Drehung um seine Axe nicht möglich ist. Die Rinne ist durch ein Stanniolstreifchen mit *z*, also auch mit dem Conductor *a* metallisch verbunden.

Fig. 94.



Beim Drehen wird nun die Glasscheibe zwischen dem Reibkissen + elektrisch. Damit sich nun auf dem Wege von dem Reibzeuge zu den Saugern die Elektricität nicht von der Scheibe verliert, sind die bereits erwähnten Lappen von Wachstaffent angebracht, welche, wie wir gesehen haben, am Reibzeuge befestigt sind. So kommen denn die beim Drehen zwischen den Reibkissen + elektrisch gewordenen Stellen der Scheibe zwischen die Holzringe, die + *E* der Scheibe wirkt vertheilend auf die Spitzen, die + *E* wird abgestoßen und auf den Conductor *a* getrieben, während die — *E* aus dem Conductor durch die Spitzen auf die Scheibe strömt, um sie wieder in natürlichen Zustand zu versetzen.

So wird denn der Conductor *a* mit positiver Elektricität geladen.

Damit eine fortwährend starke Elektricitätsentwickelung möglich ist, muß die auf dem Reibzeug entwickelte — *E* möglichst vollständig abgeleitet werden, das Reibzeug muß deshalb mit dem Boden oder noch besser mit einer großen Metallmasse (wo es möglich ist mit Gasleitungsröhren) in gut leitender Verbindung stehen.

Will man mit — *E* experimentiren, so wird der Conductor *a* mit dem Boden leitend verbunden; die negative Elektricität sammelt sich alsdann auf dem Conductor *o* des Reibzeugs. Dadurch, daß die Ringe *d* von Holz sind, wird eine bedeutende Anhäufung von positiver Elektricität an dieser Stelle und somit ein Ueberströmen derselben zum Reibzeug möglichst verhindert und eine stärkere Ladung des Conductors *a* ermöglicht.

Die Länge der Funken, welche man aus dem Conductor *a* ziehen kann, wird durch das Aufsetzen des in Fig. 92 dargestellten Holzringes bedeutend vermehrt. Außen ist er polirt; den Kern des Stabes und des Ringes aber bildet ein Eisendraht. — Eine Winter'sche Maschine, deren Scheibe 40 Zoll Durchmesser hat, giebt 24 Zoll lange, eine solche mit 18zölliger Scheibe giebt in gutem Zustande 10 Zoll lange Funken. Bei der nach seinem System umgebauten Maschine der polytechnischen Schule zu Wien hat Winter die Funkenlänge auf 40 Zoll gebracht.

Fig. 95.

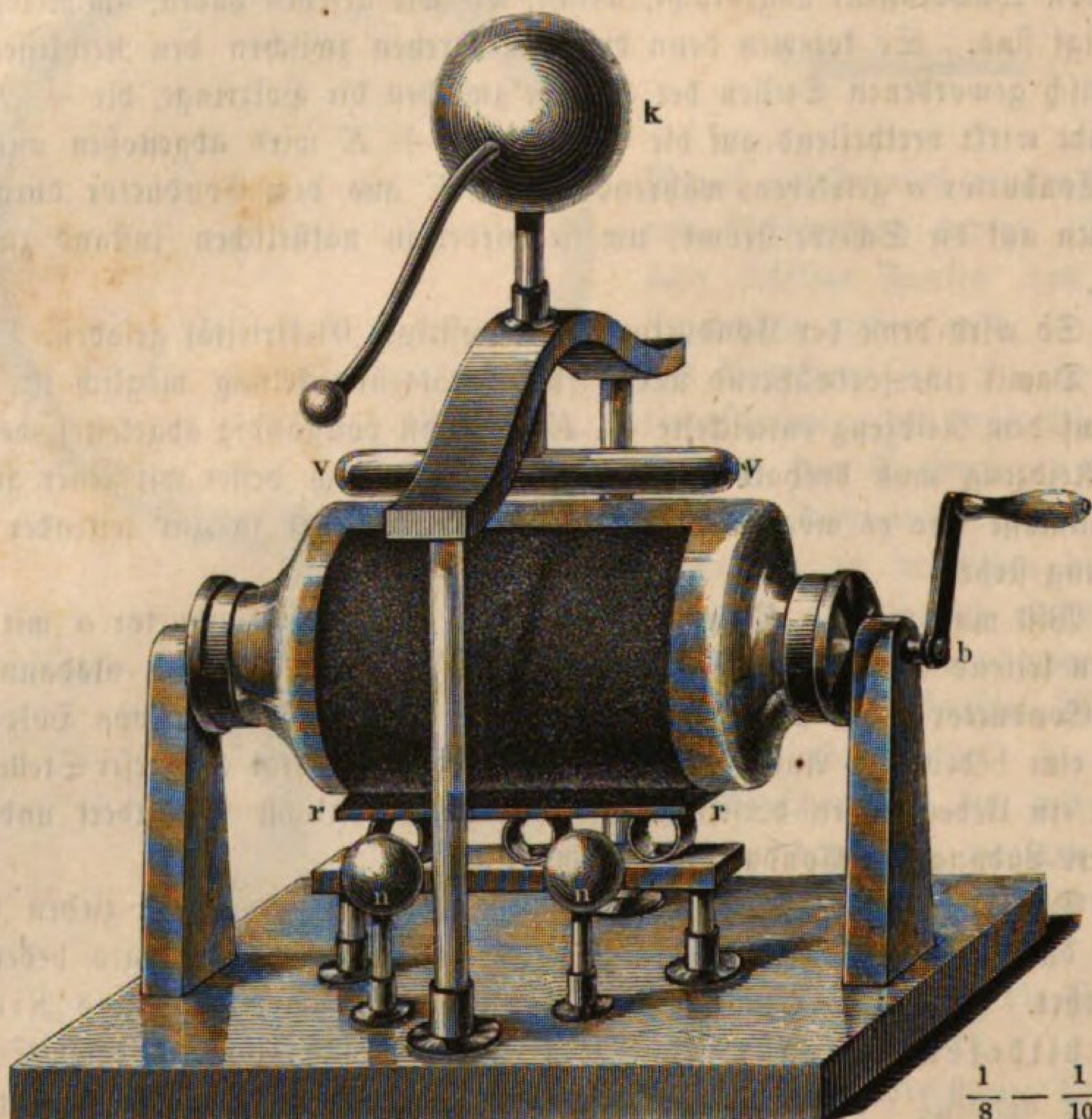


Um große Funken aus dem Conductor *a* zu ziehen, ist der Funkenzieher, Fig. 95, bequem, welcher auf einem Glasfuße befestigt ist und mit dem Boden oder noch besser mit dem Reibzeuge in leitende Verbindung gesetzt wird.

Fig. 96 (a. f. S.) stellt eine Cylindermaschine dar, wie sie Grüel in Berlin construirt, dessen Elektrisirmaschinen sich gleichfalls durch kräftige Wirkung auszeichnen. Hier ist der geriebene Körper ein großer Glascylinder, welcher um eine horizontale Axe *b* drehbar ist und in seiner ganzen Länge durch ein einziges Kissen *rr* gerieben wird. Dieses Kissen kann mit den kleinen durch Glasfüße getragenen

Conductoren *n* in leitende Verbindung gesetzt werden. Der Conductor besteht aus dem mit Saugspitzen besetzten Messingcylinder *vv*, welcher dem Reibzeuge

Fig. 96.



diametral gegenübersteht, und der Hohlkugel *k*, welche mit *vv* leitend verbunden ist und an einem etwas gebogenen Messingrohre noch eine kleinere Kugel trägt.

Damit das am Reibzeuge geriebene Glas auf dem Wege bis zum Conductor *v* seine Elektricität nicht verliert, ist die eine Hälfte des Cylinders mit einem Stücke Wachstaffent bedeckt, welches am Reibzeuge *r* befestigt ist. Wenn man auf *v* eine starke Ladung von $+ E$ haben will, so muß man das Reibzeug mit dem Boden in leitende Verbindung setzen. Umgekehrt muß man dafür sorgen, daß die $+ E$ vom Conductor *v* frei abströmen kann, wenn man auf den mit dem Reibzeuge *r* leitend verbundenen Conductoren *n* eine möglichst starke negative Ladung beabsichtigt.

Um über den Grad der Ladung des Conductors einigermaßen ein Urtheil zu haben, setzt man das Henley'sche Quadrantenelektrometer, Fig. 97, auf denselben, dessen Einrichtung schon aus der Figur klar wird. Je stärker die Ladung wird, desto mehr wird das an einem Strohhalm steckende Korkkügelchen *d* abgestoßen, desto mehr steigt es. An einem getheilten Halbkreise,

den unsere Figur von der Rückseite zeigt, kann man sehen, um wie viel Grade sich der Strohhalm, welcher die kleine Kugel trägt, von seiner Gleichgewichtslage entfernt hat. Diese Gradzahl ist jedoch nicht der elektrischen Spannung auf dem Conductor proportional. Wenn man die Maschine zu drehen anfängt, steigt das Kügelchen rasch, bald aber erreicht es eine Stellung, welche es fast ganz unverändert beibehält, so lange man dreht. Es zeigt dies, daß ungeachtet der fortwährenden Elektricitätsentwickelung die Spannung auf dem Conductor nicht mehr zunimmt. Der Grund davon liegt darin, daß, so gut man den Conductor auch isoliren mag, er doch fortwährend Elektricität verliert. Dieser Verlust ist nun um so größer, je größer die Spannung der Elektricität ist; begreiflicher Weise wird bei fortgesetztem Drehen bald ein Zeitpunkt eintreten, wo die Spannung auf dem Conductor so groß ist, daß der elektrische Verlust in jedem Zeittheilchen gleich ist der Elektricitätsmenge, welche in derselben Zeit dem Conductor zugeführt wird.

Fig. 97.



Die Größe der möglichen Ladung eines Conductors hängt namentlich auch von der Witterung ab. Bei feuchter Witterung, wo der elektrische Verlust sehr bedeutend ist, kann man dem Conductor keine so starke Ladung ertheilen, wie bei trockenem Wetter, wie man dies namentlich sehr deutlich mit dem Quadrantenelektrometer zeigen kann.

Winter ist auf die gute Idee gekommen, die Wirkung der Elektrisirmaschine direct mit dem Stande eines Darmsaitenhygrometers zu vergleichen, und hat gefunden, daß die Funkenlänge nahezu in demselben Verhältniß abnimmt, in welchem sich der Zeiger des Hygrometers dem Punkte der größten Feuchtigkeit nähert. Er hat sich zur Vergleichung mit den Wirkungen der Elektrisirmaschine ein besonderes Hygrometer construirt, welches er Hygroelektrometer nennt. Der Punkt der größten Feuchtigkeit ist mit 0, der der größten Trockenheit ist mit 16 bezeichnet und der Zwischenraum des Gradbogens in 16 gleiche Theile getheilt. Steht der Hygrometerzeiger auf 16, so hat man die größte Funkenlänge zu erwarten, welche die Maschine geben kann; steht aber der Zeiger auf 8, auf 4, so werden die Funken ungefähr nur $1/2$, $1/4$ so lang sein, als sie die Maschine unter den günstigsten Umständen zu geben im Stande ist. Man braucht nur den Stand des Hygrometers zu beobachten, um zu wissen, welche Funkenlänge man von der Maschine zu erwarten hat.

Versuche mit der Elektrisirmaschine. Mit der Elektrisirmaschine 40
lassen sich zahlreiche Versuche anstellen, welche dazu dienen, die bisher besprochenen Gesetze der Elektricität zu erläutern. Wir wollen einige derselben näher betrachten.

Der Korkkugeltanz, welcher eigentlich nur eine vollendete Form des Fig. 72 Seite 76 dargestellten Versuches ist, läßt sich am einfachsten dadurch hervorbringen, daß man den Deckel des Elektrophors, Fig. 87 Seite 93, an seinen Schnüren so aufhängt, daß seine untere Fläche 2 bis 3 Zoll hoch über dem mit Staniol beklebten Brette *cc* schwebt. Werden nun an die Stelle des entfernten Harzkuchens Hollundermarkkügelchen gelegt, so tanzen diese zwischen den beiden metallischen Platten hin und her, sobald man die obere Platte in leitende Verbindung mit dem Conductor einer in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine bringt.

Man kann die leichten Kügelchen durch gemalte und ausgeschnittene Papierfigürchen oder durch leichte Püppchen von Hollundermark ersetzen und erhält so den elektrischen Puppentanz.

Bei dem eben beschriebenen Versuche fahren die Kügelchen leicht nach den Seiten auseinander; um dies zu verhindern, schließt man sie in einen Glascylinder ein, den man oben und unten mit einem Deckel von Pappe versieht, welcher mit Staniol überzogen ist. Der obere Deckel ist mit dem Conductor, der untere mit dem Boden in leitender Verbindung (Fig. 98).

Fig. 98.



$\frac{1}{6}-\frac{1}{8}$

Die elektrischen Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen hat man zu zahllosen Spielereien benutzt, wie das elektrische Glockenspiel, die elektrische Spinne u. s. w., die sich namentlich in älteren Cabinetten finden und deren Beschreibung hier überflüssig wäre.

Die gegenseitige Abstoßung von Körpern, welche mit gleicher Elektricität geladen sind, kann man sehr schön mit Hülfe des Papierbüschels, Fig. 99, zeigen, den man mittelst des Korkes *k* auf den Conductor der Maschine aufsteckt. Auf einem leitenden Stäbchen ist oben ein leitendes Scheibchen befestigt, von dessen Rand eine Reihe 2 bis 3 Linien breiter, 1 bis $1^1/_2$ Fuß langer Streifchen von dünnem Papier herabhängen. Sobald die Maschine gedreht wird, gehen die Streifchen wie ein Schirm auseinander.

Die Haare auf dem Kopfe zeigen eine ähnliche Erscheinung, wenn man sich auf den Isolirschemel, d. h. auf ein durch Glasfüße getragenes Brett, Fig. 100, (man kann auch ein durch 4 Champagnerflaschen getragenes Brett nehmen) stellt und den Conductor der Maschine mit der Hand berührt. Sobald die Maschine gedreht wird, sträuben sich die Haare, sie fallen zusammen, so oft man aus dem Conductor oder dem menschlichen Körper selbst einen Funken zieht.

Der elektrische Funke kann leicht brennbare Körper, z. B. eine eben ausgelöschte Kerze, entzünden. Der schwächste Funken schon, welcher durch Knallgas schlägt, reicht hin, eine Explosion zu bewirken. Um die Entzündung des Knallgases zu zeigen, wendet man die sogenannte elektrische Pistole an, welche

Fig. 101 in möglichst einfacher Form dargestellt ist. Ein kleines Gefäß von Blech hat außer der oberen größeren Oeffnung noch eine zweite, in welche das Glasröhrchen *tt* eingekittet ist; in dieses Glasröhrchen ist ferner ein Messingdraht eingekittet, welcher einerseits mit der Kugel *b*, andererseits mit der kleinen Kugel *a* endet. Letztere Kugel steht 1 bis 2 Millimeter weit von der Blechwand des Gefäßes ab.

Fig. 99.

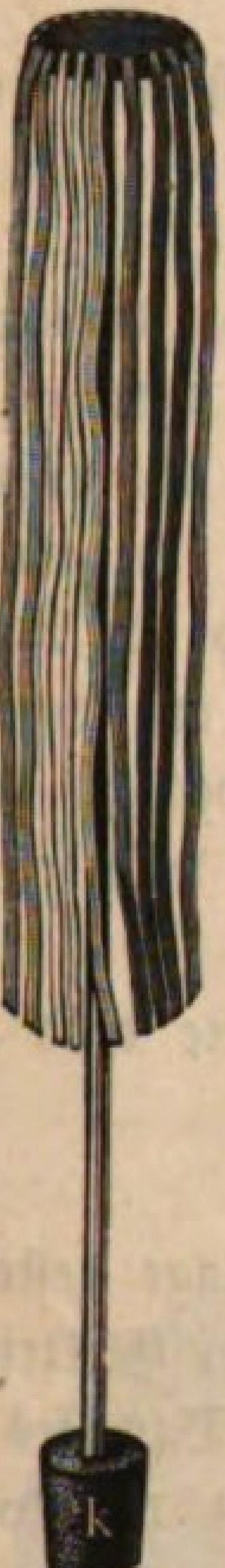


Fig. 100.



Fig. 102.

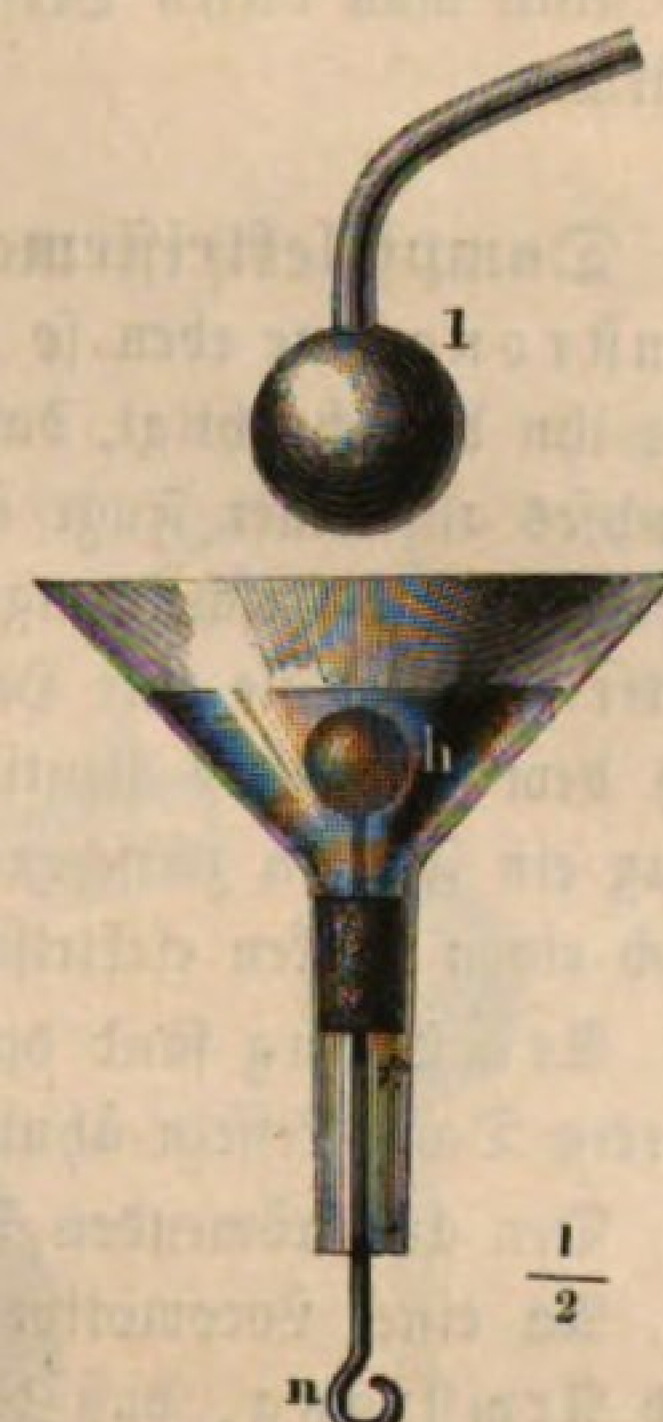
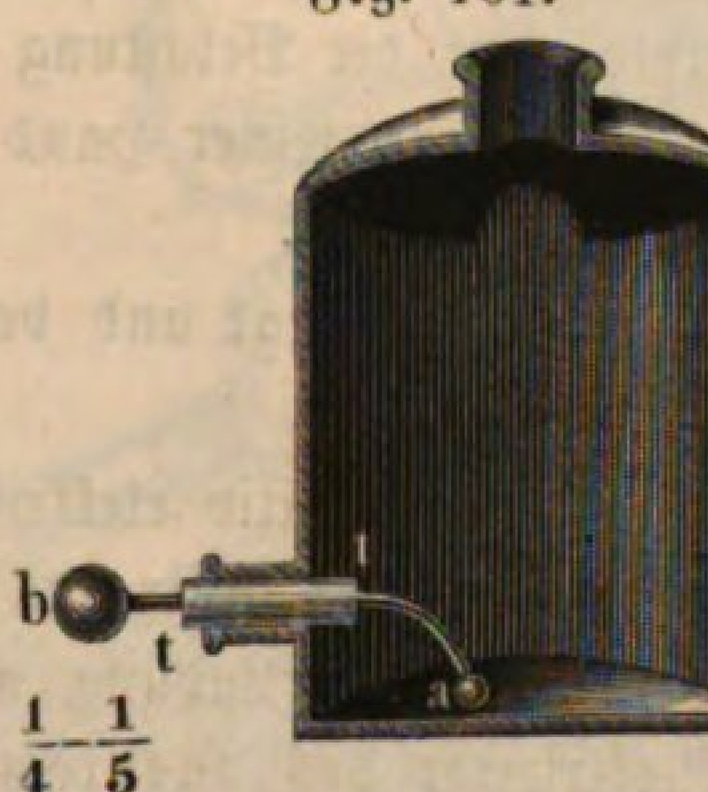


Fig. 101.



Läßt man nun, während das Gefäß ableitend berührt ist, einen elektrischen Funken auf die Kugel *b* schlagen, so springt ein solcher auch zwischen der Kugel *a* und der Gefäßwand über, wodurch das Knallgas, mit welchem man vorher das Gefäß gefüllt hatte, entzündet, und der die größere Oeffnung des Gefäßes verschließende Kork mit lautem Knalle fortgeschleudert wird.

Die Füllung mit Knallgas geschieht dadurch, daß man einige Zeit Wasserstoffgas durch die große Oeffnung in das Gefäß einströmen läßt. Es mischt sich dieses dann mit dem Sauerstoff der schon im Apparate enthaltenen atmosphärischen Luft zu Knallgas.

Um Aether zu entzünden, sind schon kräftigere Funken nöthig. Man kann diesen Versuch etwa in folgender Weise anstellen: unter die Kugel *l*, Fig. 102, welche auf irgend eine Weise in leitende Verbindung mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine steht (man kann dazu ohne weiteres die kleine Kugel verwenden, welche mit dem Conductor *k* der Grüel'schen Maschine, Fig. 96, in Verbindung steht, oder man kann bei der Winter'schen das Röhrchen, Fig. 93, aus dem Conductor ausziehen, und statt dessen ein ungefähr 4 Zoll

langes Messingstäbchen einstecken, welches mit einer Kugel endigt), wird ein Glastrichter in passendem Statif aufgestellt, dessen Rohr mittelst eines Korkes verschlossen ist. Durch diesen Kork geht ein Messingdraht hindurch, welcher oben die kleinere Messingkugel *h* trägt, unten aber mit einem Haken endigt. In den Trichter wird so viel Aether gegossen, daß die Kugel *h* eben damit bedeckt ist. Wird nun in den Haken *n* eine ableitende Metallkette eingehängt, so schlagen zwischen *l* und *h* sogleich Funken über, sobald man die Maschine dreht und diese entzünden dann den Aetherdampf.

Will man diesen Versuch mit Weingeist anstellen, so muß man denselben erwärmen.

41 **Dampfelektrisirmaschine.** Vor einigen Jahren machte der Engländer Armstrong eine eben so interessante als wichtige Entdeckung bekannt. Man hatte ihn benachrichtigt, daß in der Nähe von Newcastle beim Ausströmen des Dampfes aus einer Fuge in der Nähe des Sicherheitsventils eine ungewöhnliche elektrische Erscheinung beobachtet worden sei; als nämlich der Maschinenwärter zufällig die eine Hand in den Dampfstrahl hielt und mit der anderen nach dem Hebel des Ventils faßte, um die Belastung derselben zu reguliren, schlug ein Funken zwischen dem Hebel und seiner Hand über, während er zugleich einen starken elektrischen Schlag erhielt.

Armstrong fand diese Angaben bestätigt und beobachtete bald auch an anderen Dampfkesseln ähnliche Erscheinungen.

Den ausströmenden Dampf fand er positiv elektrisch.

An einer Locomotive, welche auf eine isolirende Unterlage gestellt war, fand Armstrong, daß dieselbe eine starke Ladung negativer Elektricität erhielt, wenn man die positive Elektricität des ausströmenden Dampfes gehörig ableitete, und zwar so, daß man sehr kräftige Funken aus der Locomotive ziehen konnte.

Anfangs war man der Meinung, die Elektricitätsentwickelung möchte wohl durch die Dampfbildung oder seine nachherige Condensation veranlaßt werden, und hoffte, daß die neu entdeckte Erscheinung vielleicht zur Aufhellung des Dunkels beitragen möchte, in welches noch die Entstehung der atmosphärischen Elektricität gehüllt ist.

Nach späteren, namentlich von Faraday angestellten Versuchen ist jedoch wohl kein Zweifel mehr, daß die Quelle dieser Elektricität die Reibung des mit Gewalt ausströmenden Dampfes an den Wänden der Oeffnung ist.

Armstrong hat die beim Ausströmen des Dampfes frei werdende Elektricität zur Construction einer Elektrisirmaschine benutzt, welche er Hydroelektrisirmaschine nennt. Eine kolossale Maschine der Art hat er für das polytechnic Institution zu London anfertigen lassen.

Dieser Apparat besteht aus einem cylinderförmigen Dampfkessel von $3\frac{1}{2}$ Fuß Durchmesser und $6\frac{1}{2}$ Fuß Länge. Der Feuerheerd ist im Kessel enthalten, und die erhitzte Luft wird in Röhren durch das Wasser zu einem Schornsteine geführt. Der Apparat ist durch 6 starke Glasfüße isolirt.

Der Dampf entweicht aus 46 durch Hähne verschließbaren Röhren, an deren Mündung ein Röhrchen von hartem Holze eingesetzt ist, wodurch die Wirkung sehr verstärkt wird.

Der Dampf strömt gegen eine Reihe von Metallspitzen, die mit dem Boden in leitender Verbindung stehen, um die Elektrität des Dampfes abzuleiten.

Fig. 103.

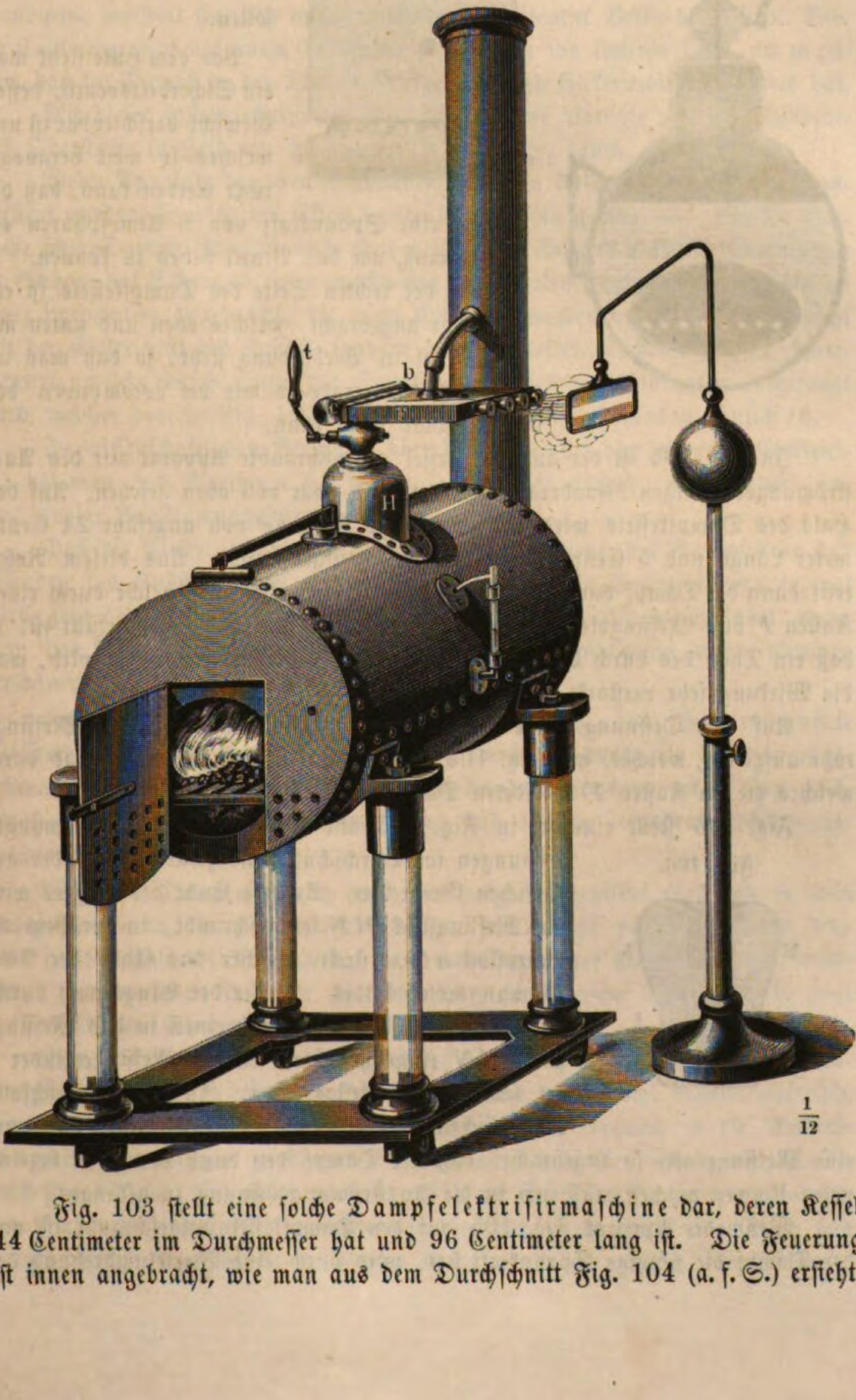


Fig. 103 stellt eine solche Dampfelektrisirmaschine dar, deren Kessel 44 Centimeter im Durchmesser hat und 96 Centimeter lang ist. Die Feuerung ist innen angebracht, wie man aus dem Durchschnitt Fig. 104 (a. f. S.) ersieht.

Oben auf dem Dampfkessel befindet sich ein Hut, auf welchem ein kurzes durch einen Hahn verschließbares Messingrohr befestigt ist; auf dieses kurze Rohr können dann die Ausströmungsöffnungen aufgeschraubt werden, die alsbald näher beschrieben werden sollen.

Fig. 104.

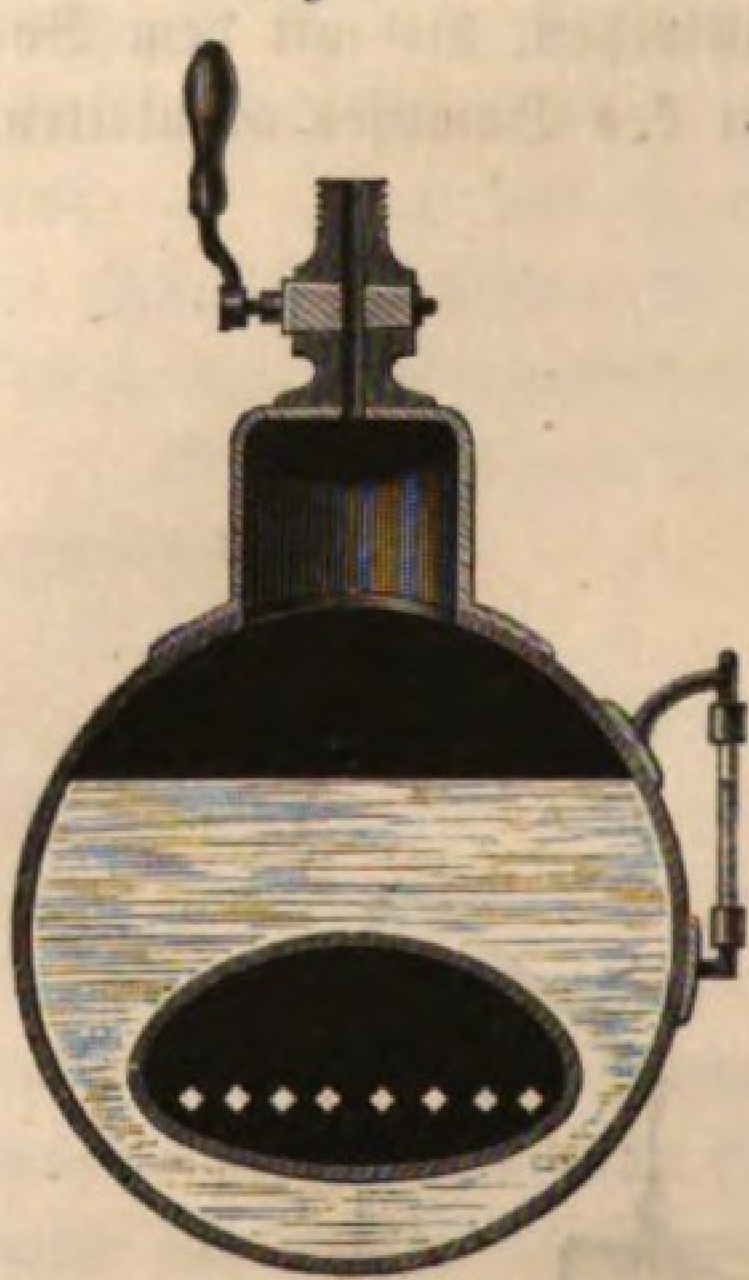
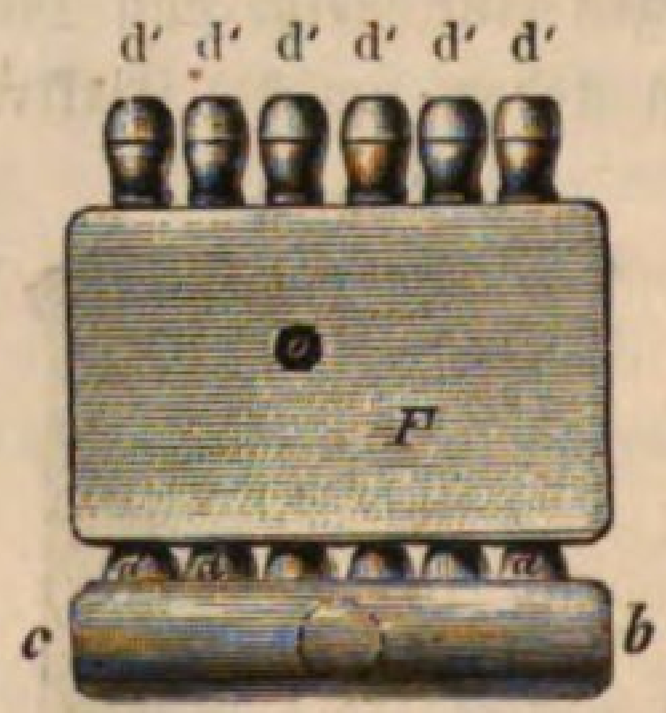


Fig. 105.



Vor dem Hute sieht man ein Sicherheitsventil, dessen Gewicht verschiebbar ist und welches so weit herausgerückt werden kann, daß der Dampf eine Spannkraft von 6 Atmosphären erreichen muß, um das Ventil heben zu können.

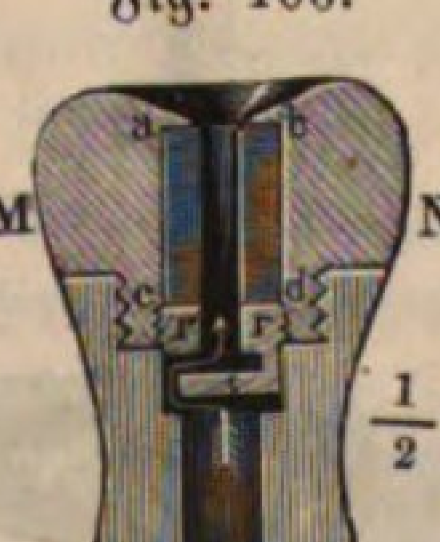
Auf der rechten Seite des Dampfkessels ist ein Glasrohr angebracht, welches oben und unten mit dem Kessel in Verbindung steht, so daß man an diesem Rohre gerade so wie bei Locomotiven den Wasserstand sehen kann.

In Fig. 105 ist der auf den Kessel aufgeschraubte Apparat mit den Ausströmungsöffnungen besonders abgebildet, und zwar von oben gesehen. Auf den Hals des Dampfkessels wird ein gußeisernes Rohr *bc* von ungefähr 24 Centimeter Länge und 5 Centimeter Durchmesser aufgeschraubt. Aus diesem Rohre tritt dann der Dampf durch sechs horizontale Röhren *dd'* aus, welche durch einen Kasten *F* von Messingblech hindurchgehen, der mit kaltem Wasser gefüllt ist, so daß ein Theil des durch die Röhren strömenden Dampfes condensirt wird, was die Wirkung sehr verstärkt.

Auf eine Oeffnung *o* im oberen Deckel des Kastens *F* wird ein Messingrohr aufgesetzt, welches, wie Fig. 103 zeigt, in den Schornstein führt und durch welches die im Kasten *F* gebildeten Dämpfe entweichen.

Fig. 106 stellt eine der in Fig. 105 mit *d'* bezeichneten Ausströmungsöffnungen im Durchschnitt und zwar in $^1/_2$ der natürlichen Größe dar. An das Ende des Rohres wird ein Messingstück *MN* eingeschraubt, in welchem ein Holzpflock *abcd* steckt, welcher das Ende der Ausströmungsröhre bildet. Dieser der Länge nach durchbohrte Holzcylinder wird durch einen in das Messingstück *MN* eingeschraubten kurzen Messingcylinder *r* an seiner Stelle festgehalten. An diesem gleichfalls durchbrochenen Cylinder *r* ist vorn vor seiner Oeffnung eine Messingplatte so angebracht, daß der Dampf den durch den Pfeil bezeichneten Umweg machen muß, um in die Ausströmungsöffnung zu gelangen.

Fig. 106.



Wenn der Apparat Fig. 105 auf den Dampfkessel aufgeschraubt ist und der Dampf die nöthige Spannkraft hat, wird durch eine Viertelumdrehung des

Handgriffs l, Fig. 103, der Absperrhahn geöffnet, der Dampf strömt mit Gewalt aus den sechs Oeffnungen hervor, und alsbald wird auch der Kessel elektrisch. Der entweichende Dampf hat die entgegengesetzte Elektricität wie der Kessel; um aber eine möglichst starke Wirkung zu erhalten, muß die Elektricität des Dampfes möglichst abgeleitet werden; dies geschieht dadurch, daß man in den Dampfstrom eine Reihe von Metallspitzen stellt, welche an einem messingenen Conductor befestigt sind, der mit dem Boden in leitender Verbindung steht. Dieser Conductor steht auf einem Glasfuße, so daß man ihn isoliren kann, um zu zeigen, daß der Dampf in der That die entgegengesetzte Elektricität des Kessels hat.

Mit dieser Hydroelektrisirmaschine läßt sich eine Batterie von 36 Quadratfuß Oberfläche in Zeit von 30 Secunden vollständig laden.

Wenn Apparate der eben beschriebenen Art in kleineren Dimensionen ausgeführt werden, so wird der Effect unverhältnißmäßig gering. — Um die Versuche über Dampfelektricität auch ohne besonderen isolirten Dampfkessel anstellen zu können, hat Schwerd einen zweckmäßig construirten Ausströmungsapparat an einer Locomotive angebracht, die nicht isolirt zu werden braucht, weil er nicht mit der Elektricität des Kessels, sondern mit der Elektricität des Dampfes experimentirt, welche durch einen mit Saugspitzen versehenen Conductor aufgesaugt wird, welcher dem in Fig. 103 rechts vom Dampfkessel stehenden ähnlich ist.

Zu wissenschaftlichen Versuchen über die Natur der hier erzeugten Elektricität hat man das Maximum der Wirkung gar nicht nöthig, man braucht nur eine einzige Ausströmungsöffnung anzuschrauben.

Daß die Elektricität hier wirklich durch die Reibung des Dampfes an den Wänden des Ausflußcanals und nicht etwa durch die Dampfbildung erzeugt wird, geht daraus hervor, daß augenblicklich alle Elektricität verschwindet, wenn man das Sicherheitsventil öffnet, obgleich die Dampfbildung ununterbrochen fortdauert.

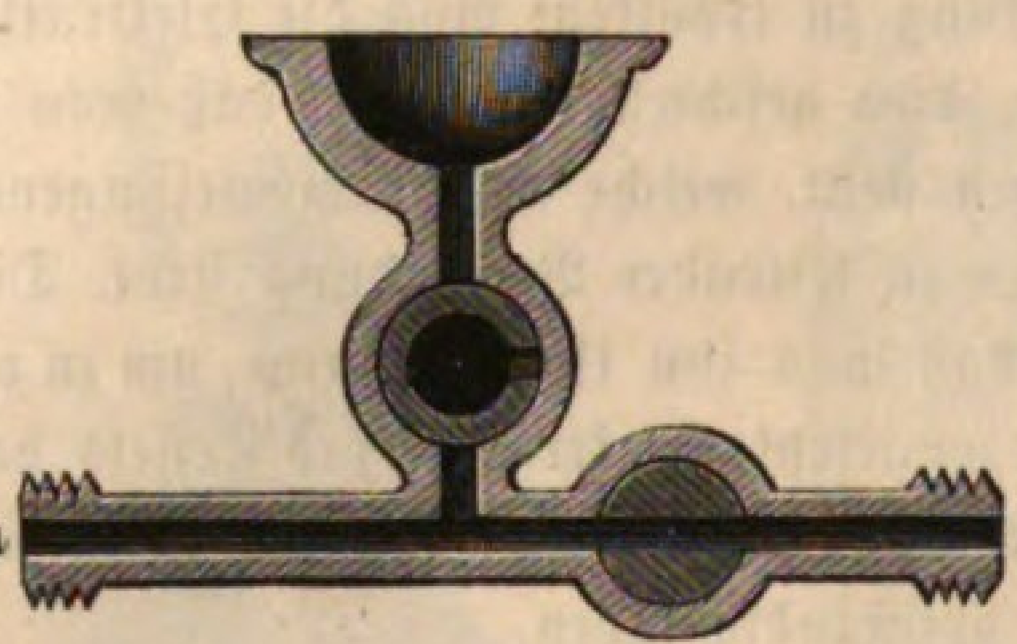
Zur Erzeugung der Elektricität ist es wesentlich, daß schon condensirte Wassertheilchen durch den ausströmenden Dampf mit durch die Ausströmungsröhren durchgetrieben werden; deshalb der Condensationsapparat F Fig. 105. Wenn die Ausströmungsröhren lang genug sind, ist kein besonderer Abkühlungsapparat nöthig.

Wenn die Dampfmündung durch eine Holzröhre gebildet wird, wie es oben angegeben wurde, so ist der Kessel negativ, der Dampf positiv elektrisch; dasselbe ist der Fall bei Anwendung einer metallenen oder gläsernen Dampfmündung. Wendet man statt der hölzernen eine elfenbeinerne Röhre an, so zeigt der Kessel kaum Spuren einer Ladung.

Wenn man vor der Dampfmündung etwas Terpentinöl in die Ausströmungsröhre bringt, so wird der Kessel positiv und der Dampf negativ elektrisch. Um das Terpentinöl oder auch andere Flüssigkeiten bequem in die Ausströmungsröhre einbringen zu können, wendet man eine Vorrichtung an, welche durch Fig. 107 (a. f. S.) angedeutet ist. ab ist ein Stück des Ausströmungsrohres; aus demselben geht eine Röhre vertical in die Höhe, welche durch einen Hahn von eigenthümlicher Einrichtuag geschlossen wird; er bildet nämlich eine Höhlung,

welche nur nach einer Seite offen ist. Ueber diesem Hahn befindet sich eine trichterförmige Erweiterung, in welche die Flüssigkeit eingegossen wird. Wie der Hahn in der Zeichnung steht, ist die Höhlung des Hahnes weder mit dem Trichter noch mit dem Rohr in Verbindung. Wird die Oeffnung des Hahnes nach oben gekehrt, so füllt sich seine Höhlung mit der Flüssigkeit aus dem Trichter; dreht man jetzt den Hahn um eine halbe Umdrehung, so muß nun die Flüssigkeit aus der Höhlung in das Rohr fallen.

Fig. 107.



Wenn durch Terpentinöl der Kessel positiv gemacht worden ist, so verliert sich dieser Zustand bald wieder, wenn nicht neues Terpentinöl eingebracht wird, und geht in den negativen über, sobald alles Terpentinöl weggerissen und verdampft ist. Fette Oele, wie Baumöl, bringen dieselbe Wirkung hervor, nur ist ihre Wirkung bleibender, weil sie nicht so flüchtig sind. Ein Holzfutter, durch welches einmal ein fettes Oel durchgeströmt ist, ist unbrauchbar, um den kräftigen negativen Zustand des Kessels wieder zu erzeugen, wie er entstehen würde, wenn der Dampf durch eine nicht fette Holzröhre ausströmte.

Bringt man durch den Hahn, Fig. 107, eine Salzlösung in die Ausströmungsröhre, so hört augenblicklich alle Elektricitätsentwickelung auf.

Alle diese Umstände beweisen, daß nur in der Reibung der ausströmenden Wasser- und Dampftheilchen an den Röhrenwänden und nicht in der Veränderung des Aggregatzustandes die Ursache der Elektricitätsentwickelung zu suchen sei.

42 **Intensität der elektrischen Anziehungen und Abstoßungen.** Die elektrischen Anziehungen und Abstoßungen verhalten sich wie die Dichtigkeiten der auf einander wirkenden Fluida, und umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung. Dieses Fundamentalgesetz der elektrischen Wirkungen ist wie das entsprechende Gesetz für die magnetischen Kräfte von Coulomb aufgestellt und bewiesen worden. Er wandte hier ganz ähnliche Mittel an, wie dort, nämlich die Drehwage und die Oscillationen einer kleinen elektrischen Nadel.

Man kann die Drehwage in der schon auf Seite 45 beschriebenen Gestalt Fig. 108 auch zu elektrischen Versuchen anwenden, für welche jedoch die Form Fig. 109 weit geeigneter ist. Vor Allem muß man dafür sorgen, daß alle Wände möglichst gut isoliren. Der gleichfalls gut isolirende Deckel hat zwei Löcher, eins in der Mitte, über welchem die Röhre sich erhebt, und ein anderes auf der Seite, um die elektrisirten Körper in den Apparat hineinzubringen. Der Torsionskreis am oberen Theile der Röhre ist gerade so eingerichtet, wie zu den magnetischen Versuchen. Der Silber- oder Messingfaden, welcher in dem Rohre herunterhängt, trägt an seinem unteren Ende eine leichte Nadel von

Schellack, die sehr gut äquilibrirt sein muß, und an einem Ende ein Kügelchen

Fig. 108.

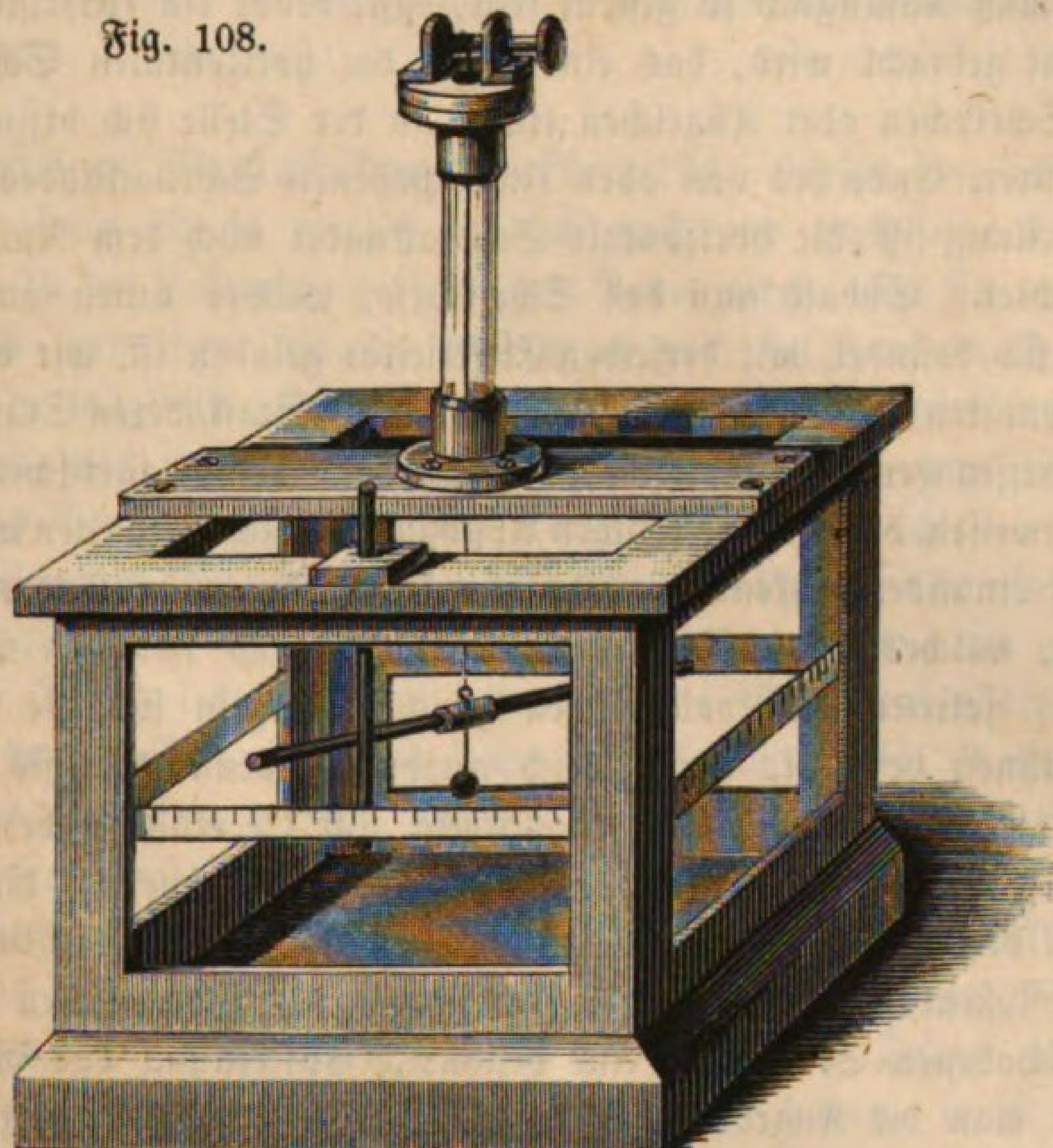
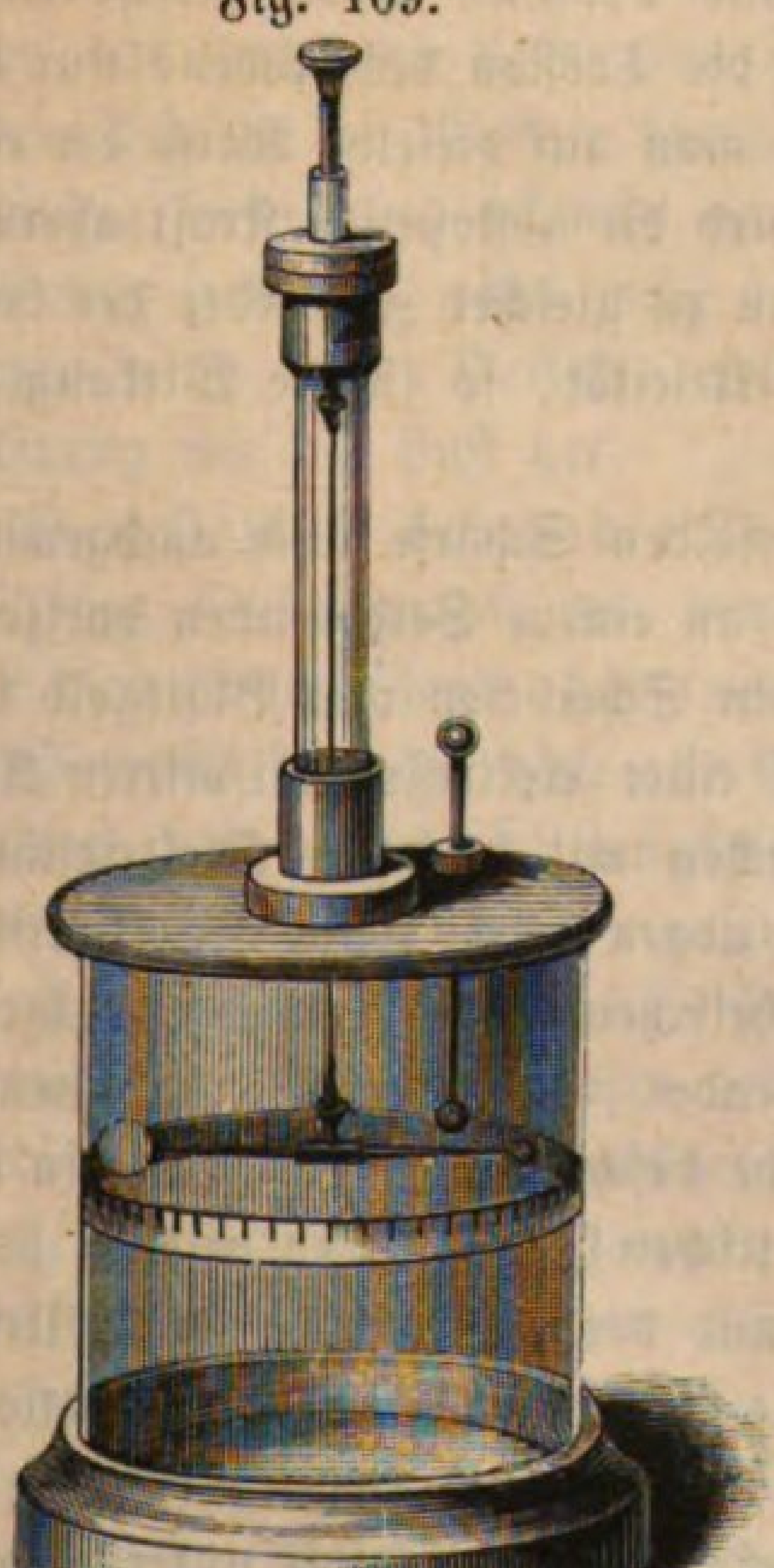


Fig. 109.



$\frac{1}{8}$

von Hollundermark oder ein Scheibchen von Blattgold trägt, welches 6 bis 8 Linien im Durchmesser hat. Auf den Boden setzt man, um die Luft im Innern trocken zu erhalten, ein Schälchen, in welchem sich einige Stücke Chlorcalcium befinden.

In Betreff der Verbesserungen, welche Rieß noch an der Drehwage angebracht hat, um den Messungen mit derselben größere Genauigkeit und Bequemlichkeit zu sichern, müssen wir auf dessen vortreffliches Werk: »Die Lehre von der Reibungselektricität« verweisen.

Um mit diesem Apparate das Gesetz der elektrischen Abstoßung zu beweisen, ertheilt man der Scheibe oder dem Kügelchen der horizontalen Schellacknadel eine bestimmte Elektricität und bringt dann ein mit derselben Elektricität geladenes Scheibchen oder Kügelchen, welches am unteren Ende eines vertical gehalte-

nen Schellackstäbchens befestigt ist, wie Fig. 109 zeigt, in den Apparat. Der Torsionskreis muß anfänglich so gestellt sein, daß, bevor ein elektrisirter Körper in den Apparat gebracht wird, das eine Ende der horizontalen Schellacknadel, welches das Scheibchen oder Kügelchen trägt, an der Stelle sich befindet, welche nachher das untere Ende des von oben eingeschobenen Schellackstabes einnimmt. Bei dieser Stellung ist die horizontale Schellacknadel nach dem Nullpunkte der Theilung gerichtet. Sobald nun das Scheibchen, welches unten am verticalen Schellackstabe sich befindet, mit derselben Elektricität geladen ist, wie das Scheibchen der horizontalen Nadel, so findet eine Abstoßung Statt, deren Stärke auf dieselbe Weise gemessen werden kann, wie bei den entsprechenden magnetischen Versuchen.

Um zu beweisen, daß die elektrischen Abstoßungen sich verhalten wie die Dichtigkeit der auf einander wirkenden elektrischen Flüssigkeiten, muß man ein Princip anwenden, welches schon für sich selbst einleuchtend ist: daß nämlich auf zwei leitenden, isolirten und vollkommen gleichen Kugeln sich die Elektricität, die sich auf ihnen befindet, ganz gleich vertheilt, wenn man sie in Berührung bringt. Wäre z. B. vor der Berührung nur die eine der beiden Kugeln elektrisirt gewesen, die andere nicht, so wird bei der Berührung die erstere die Hälfte ihrer E verlieren. Nachdem man nun zuerst die Torsionskraft bestimmt hat, welche der abstoßenden Kraft zwischen der Kugel der horizontalen Nadel und der des eingeschobenen Stabes für eine bestimmte Entfernung das Gleichgewicht hält, berührt man die Kugel des Stabes mit einer vollkommen gleichen, auf dieselbe Weise isolirten, nicht elektrischen Kugel. Die auf diese Weise berührte Kugel verliert die Hälfte ihrer Elektricität, und um nun wieder gleiche Ablenkung der horizontalen Nadel zu erhalten, darf die Torsion des Fadens nur halb so groß sein, als vor der Berührung. Nimmt man auf dieselbe Weise der einen Kugel wieder die Hälfte ihrer Elektricität, so wird die abstoßende Kraft abermals um die Hälfte vermindert u. s. w. Nimmt man zu gleicher Zeit jeder der beiden Kugeln in der Drehwage die Hälfte ihrer Elektricität, so ist die Wirkung zwischen beiden 4mal schwächer als vorher.

Coulomb hat dieselben Gesetze mit derselben Schärfe auch nachgewiesen, indem er eine kleine Nadel von Schellack, die an einem Seidenfaden horizontal aufgehangen war und an ihrem einen Ende ein Scheibchen von Blattgold trug, welches elektrisirt wurde, unter dem Einflusse einer elektrisirten isolirten Kugel oscilliren ließ. Ist die Kugel und das Scheibchen mit derselben Elektricität geladen, so bildet das Scheibchen das der Kugel abgewendete Ende des elektrischen Pendels; sind aber die Elektricitäten des Scheibchens und der Kugel entgegengesetzt, so ist das Scheibchen der Kugel zugewendet. Aus den Oscillationen des elektrischen Pendels kann man auf die dasselbe beschleunigenden Kräfte in ähnlicher Weise schließen, wie wir bei den magnetischen Oscillationen gesehen haben, nur ist hier die Wirkung zwischen der Kugel und der Scheibe die einzige Ursache der Oscillationen, während wir dort noch die Wirkungen des Erdmagnetismus auf die Nadel in Rechnung bringen mußten. Berücksichtigt man, daß die Intensitäten der auf das elektrische Pendel wirkenden Kräfte sich unter einander verhalten wie die Quadrate der Zahl der Oscillationen, welche unter ihrem

Einflusse die Nadel in gleichen Zeiten macht, so folgt aus diesen Versuchen, daß die elektrische Wirkung im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung abnimmt.

Allmäliger Verlust der Elektricität. Wenn ein elektrischer Leiter 43
noch so gut isolirt ist, so verliert er doch nach und nach seine Elektricität, sie zerstreut sich in der Luft oder geht in den Boden über. Da sich nun ein solcher Verlust nicht vermeiden läßt, so muß man doch bei genauen Versuchen dafür sorgen, daß er möglichst langsam vor sich gehe, daß er regelmäßig und meßbar werde, damit man ihn in Rechnung bringen kann. Ohne dies ist eine genaue Messung und Vergleichung elektrischer Kräfte ganz unmöglich.

Der Verlust durch die isolirenden Träger findet theils durch ihre Substanz, theils durch eine dünne Feuchtigkeitsschicht Statt, mit welcher sie sich überziehen. Dieses letztere findet besonders bei Glas und Seide Statt, auf welche sich der Wasserdampf sehr leicht niederschlägt. Es ist deshalb immer nöthig, Glasoberflächen, die gut isoliren sollen, mit einer Schicht von Schellackfirniß zu überziehen. Nach Coulomb's Versuchen isolirt ein so überzogener Glasstab, ebenso wie eine Schellackstange, schwache Ladungen vollkommen, wenn er 15 bis 20 Zoll lang ist. Man muß freilich durch Erwärmen dafür sorgen, daß alle Feuchtigkeit vollkommen entfernt sei. Da solche Träger nur dann vollständig isoliren, wenn sie eine hinreichende Länge haben, so ist klar, daß sie selbst eine gewisse elektrische Ladung annehmen, und man begreift wohl, daß eine stärkere Ladung, die gleichartige Elektricität mit großer Kraft abstoßend, sie bis an das Ende des isolirenden Trägers treibt und sie nöthigt, langsam und continuirlich in den Boden überzuströmen. Daß ein Leiter durch seine Träger vollständig isolirt sei, erkennt man daran, daß er, mit mehreren derselben in Berührung gebracht, nicht mehr verliert, als wenn er nur von einem einzigen getragen wird. Aller Verlust, welchen er alsdann erleidet, rührt nur von der Berührung mit der Luft her.

Der Verlust durch die Luft rührt größtentheils von dem in der Luft enthaltenen Wasserdampfe her, denn er nimmt mit der Feuchtigkeit der Luft zu. Es ist dies so auffallend, daß, wenn man über eine elektrische Glasröhre oder einen Harzstab hinbläst, diese alle Elektricität verlieren. Ebenso verhält es sich, wenn man nach einem isolirten Leiter bläst, nur darf man natürlich diesem nicht zu nahe kommen, weil sonst ein Funken überspringt. Wahrscheinlich aber rührt nicht aller Verlust, den ein elektrisirter Körper in der Luft erleidet, nur von der Gegenwart des Wasserdampfes her, denn selbst in einer Luft, welche durch Chlorcalcium vollständig getrocknet ist, findet ein solcher Verlust Statt, wie die Versuche mit der Drehwage zeigen. Nehmen wir z. B. an, daß die beiden Kügelchen durch eine Drehung von 250° des oberen Mikrometers in einer Entfernung von 20° gehalten werden, so ist die Torsionskraft, welche der abstoßenden Kraft das Gleichgewicht hält, $250^0 + 20 = 270^0$. Nach und nach aber nähern sich die Kügelchen, und man muß, nach einer Minute etwa, die Torsion um 6° verringern, um die Entfernung von 20° wieder zu erhalten. In einer

Minute war also der Verlust an Elektricität entsprechend einer Torsion von 6°. Zu Anfang der Minute war die elektrische Kraft gleich einer Torsion von 270°, am Ende derselben gleich 264°; die mittlere elektrische Kraft während dieser Minute war also $\frac{270 + 264}{2} = 267^\circ$. In einer Minute betrug also der Verlust $^6/_{267}$ oder $^1/_{44}$ der mittleren elektrischen Kraft.

Auf diese Weise hat Coulomb genau den elektrischen Verlust in der Luft ermittelt. An trockenen Tagen war er $^1/_{60}$ bis $^1/_{70}$ der mittleren Kraft für jede Minute, an feuchten Tagen betrug er oft $^1/_{20}$; unter solchen Umständen sind genaue Versuche nicht möglich. Wenn in der Atmosphäre wenige Veränderungen vorgehen, seien es nun Veränderungen der Wärme oder der Windrichtung, so bleibt der Verlust durch die Luft den ganzen Tag über fast derselbe.

Auch den elektrischen Verlust eines außerhalb der Drehwage befindlichen isolirten Leiters kann man mit der Drehwage messen. Man berührt ihn an einer bestimmten Stelle mit einem Probescheibchen und bringt dieses in die Drehwage, deren horizontale Nadel sich noch im natürlichen Zustande befindet. Anfangs wird sie angezogen, berührt das Probescheibchen, ladet sich mit seiner Elektricität und wird dann abgestoßen. Die Stärke der Abstoßung wird auf die bekannte Art gemessen. Will man sehen, wieviel die elektrische Ladung des isolirten Leiters nach einer bestimmten Zeit abgenommen hat, so muß man vorerst die Nadel der Drehwage wieder in den natürlichen Zustand versetzen und dann den Versuch ganz auf dieselbe Weise wiederholen.

44 **Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche leitender Körper.** So lange ein Körper sich im natürlichen Zustande befindet, d. h. so lange die beiden elektrischen Fluida noch verbunden sind, sind sie wahrscheinlich ganz gleichförmig in der ganzen Masse der Körper vertheilt. Sobald aber die eine Flüssigkeit von der anderen getrennt, sobald ein Leiter mit freier Elektricität geladen ist, wirken die einzelnen Elemente dieser freien Elektricität abstoßend auf einander und entfernen sich deshalb so weit von einander als nur irgend möglich, bis sie durch irgend ein Hinderniß aufgehalten werden. Ein vollkommen leitender Körper kann in seinem Inneren dieser Dispersion kein Hinderniß entgegensetzen; die Elektricität verbreitet sich deshalb auf seiner Oberfläche und würde sich noch weiter zerstreuen, wenn sich der Körper in einem für die Elektricität leicht durchdringlichen Raume befände. Die Elektricität verbreitet sich also stets auf der Oberfläche der Leiter und wird auf derselben durch die Luft zurückgehalten, welche sie gleichsam wie eine nichtleitende Schicht umgiebt.

Daß die freie Elektricität sich nur auf der Oberfläche der Körper, und nicht im Inneren derselben, verbreitet, beweisen auch folgende Versuche.

Man elektrisire zwei vollkommen gleiche, isolirte, metallene Kugeln, *a* und *b*, während sie mit einander in Berührung sind, so wird sich die Elektricität gleichförmig über beide verbreiten. Man trenne sie nun, berühre die Kugel *a* mit einer isolirten Hohlkugel, *b* mit einer ebenso großen isolirten massiven Kugel, so wird man mit Hülfe des Probescheibchens finden, daß *a* und *b* gleichviel

Elektricität verloren haben, die massive Kugel hat also nicht mehr Elektricität weggenommen als die gleich große Hohlkugel.

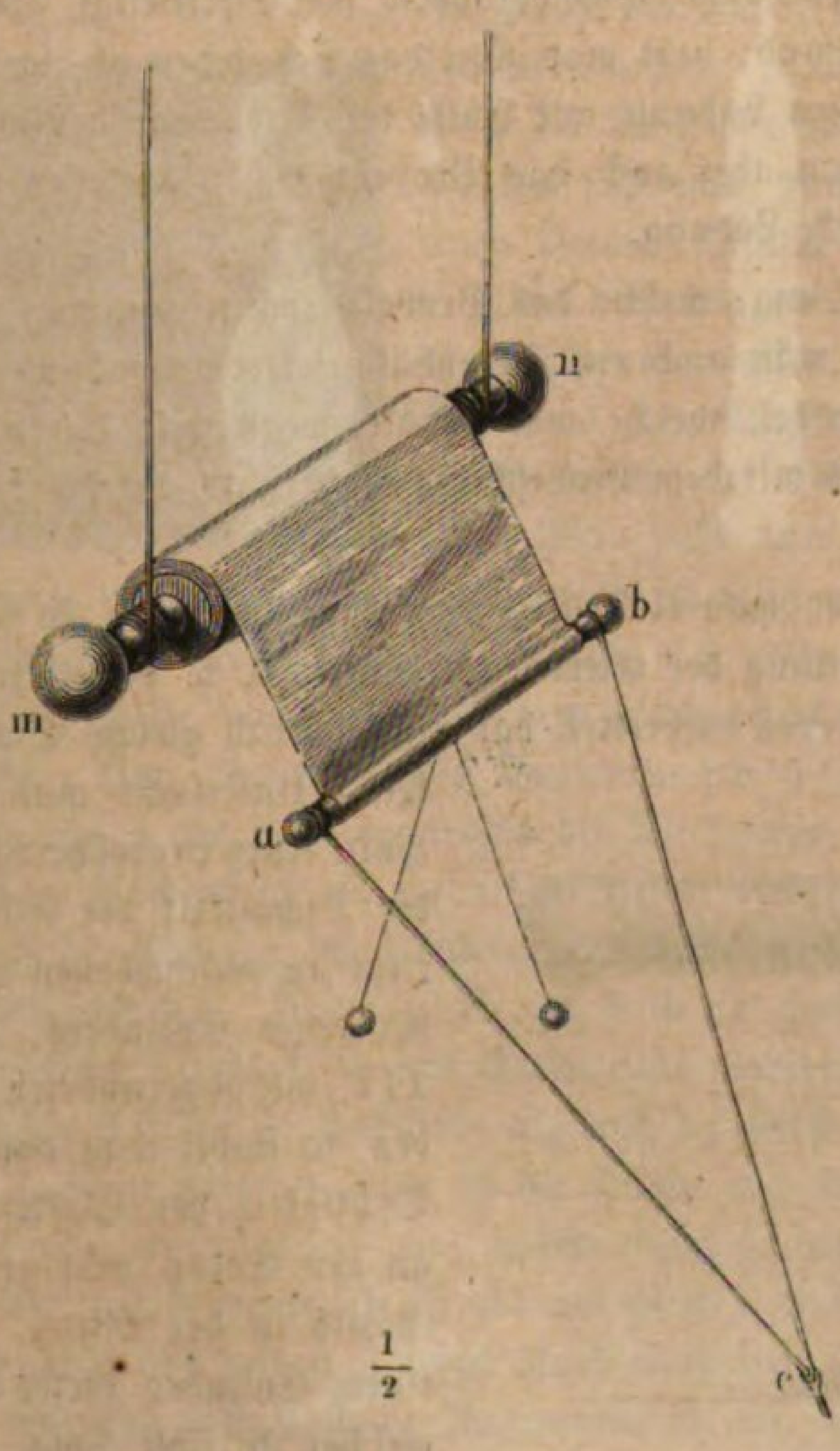
Fig. 110.



Eine isolirte Kugel von Messingblech, welche mit einer Höhlung versehen ist, wie man Fig. 110 im Durchschnitt sieht, werde durch einen Funken der Elektrisirmaschine geladen. Berührt man nun die Kugel an irgend einer Stelle mit dem Probescheibchen, so nimmt dieses die Ladung dieser Stelle an. Berührt man aber mit dem Probescheibchen den Boden der Höhlung, so nimmt es hier gar keine elektrische Ladung an; am Boden dieser Höhlung, also im Inneren der Kugel, befindet sich demnach keine freie Elektricität, dieselbe ist nur auf der Oberfläche der Kugel verbreitet.

Daraus erklärt sich auch der Vortheil, den es bringt, wenn eine zu isolirende Kugel an der Stelle, wo sie auf den Glasstab aufgesetzt ist, eine eingezogene Form hat, wie es Fig. 92 und Fig. 110 zeigen.

Fig. 111.



Auch der folgende Versuch zeigt, daß sich die Elektricität nur auf der Oberfläche der Körper verbreitet.

Ein Metallcylinder *mn*, auf beiden Seiten mit etwas dünneren, in Knöpfen endigenden Fortsätzen versehen, hängt, wie Fig. 111 zeigt, an zwei seidenen Schnüren. Auf den mittleren dickeren Theil dieses Cylinders ist seiner ganzen Breite nach ein ungefähr 1 Fuß langer Streifen von ächtem Goldpapier aufgeklebt, dessen freies Ende an ein Glasstäbchen *ab* befestigt ist. Dieser Goldpapierstreifen ist mehrmals um den Metallcylinder herumgewickelt. Zieht man an den Schnüren *ca* und *cb*, so wird sich der Papierstreifen von dem Cylinder abwickeln, während

dadurch gleichzeitig die Schnüre, an denen der Cylinder hängt, aufgewunden werden, wodurch der Cylinder selbst gehoben wird. Läßt man bei *c* wieder nach, so sinkt der Metallcylinder von selbst durch sein Gewicht herab, wodurch dann der Goldpapierstreifen wieder aufgewickelt wird.

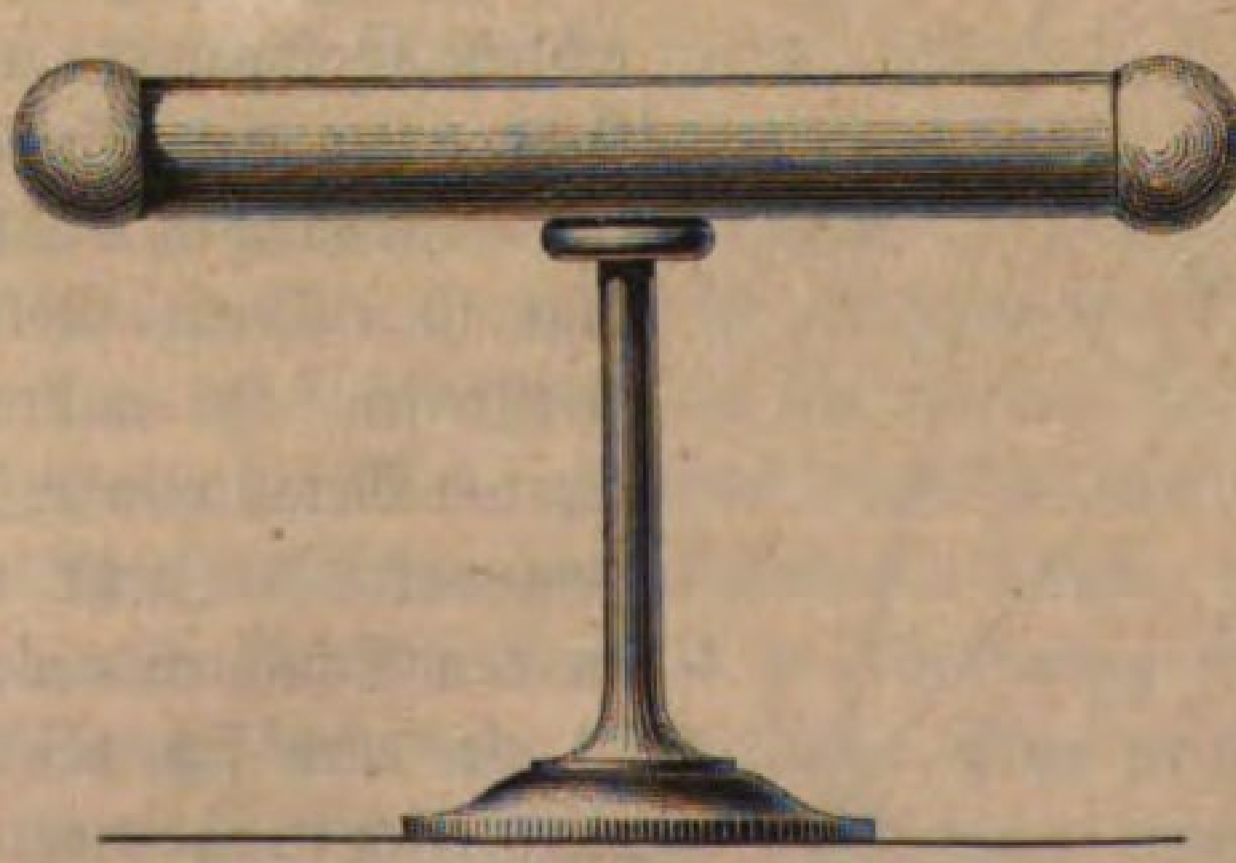
In der Mitte von *ab* hängt ein elektrisches Pendelpaar, Hollundermarkkügelchen an leinenen Fäden. Ist das Goldpapier ganz aufgewickelt, so werden die Pendel divergiren, wenn man dem Apparat eine elektrische Ladung ertheilt. Zieht man jetzt bei *c*, so daß der Streifen abgewickelt wird, so vermindert sich die Divergenz der Pendel, weil sich jetzt die Elektricität auf einer größeren Oberfläche verbreitet. Läßt man bei *c* nach, so wird die metallische Oberfläche durch das Aufwickeln des Streifens wieder verkleinert und die Pendel gehen wieder mehr auseinander.

Elektrisirt man eine isolirte Kugel, so erfordert schon das Gesetz der Symmetrie, daß sich die Elektricität auf der ganzen Oberfläche gleichförmig verbreitet, daß sie eine Schicht bildet, welche überall gleiche Dichtigkeit hat. Aber auch durch den Versuch kann man sich davon überzeugen, daß es wirklich so ist. Berührt man nämlich die elektrisirte Kugel an irgend einer Stelle mit einem Probescheibchen, so bildet dasselbe hier gleichsam ein Element der Kugeloberfläche, und es verbreitet sich auf dem Probescheibchen gerade so viel Elektricität, als sich auf dem bedeckten Kugelstücke befand; hebt man nun das Scheibchen ab, so kann man die Stärke seiner elektrischen Ladung mit Hülfe der Drehwage bestimmen. An welcher Stelle der Kugel man aber auch das Probescheibchen aufsetzen mag, überall erhält es eine gleich starke Ladung.

Anstatt die Stärke der Ladung, welche das Probescheibchen annimmt, mit der Drehwage zu messen, kann man auch ein Strohhalmelektrometer anwenden, und aus der Divergenz der Pendel, welche man erhält, wenn man den Knopf oder die Platte des Elektrometers mit dem Probescheibchen berührt, auf die Stärke seiner Ladung schließen.

Wenn der isolirte Leiter, den man elektrisirt, nicht kugelförmig ist, so findet auch keine gleichmäßige Vertheilung der Elektricität Statt, d. h. die elektrische Schicht, welche sich über den Körper verbreitet, hat nicht überall gleiche Dichtigkeit. Untersucht man mit Hülfe eines Probescheibchens die Dichtigkeit der Elektricität an verschiedenen Stellen eines Cylinders, Fig. 112, mit abgerundeten Enden, so findet man, daß die Dichtigkeit der Elektricität an den Enden weit größer ist als in der Mitte. Bei einem Cylinder dieser Art, welcher 8 Zoll lang war

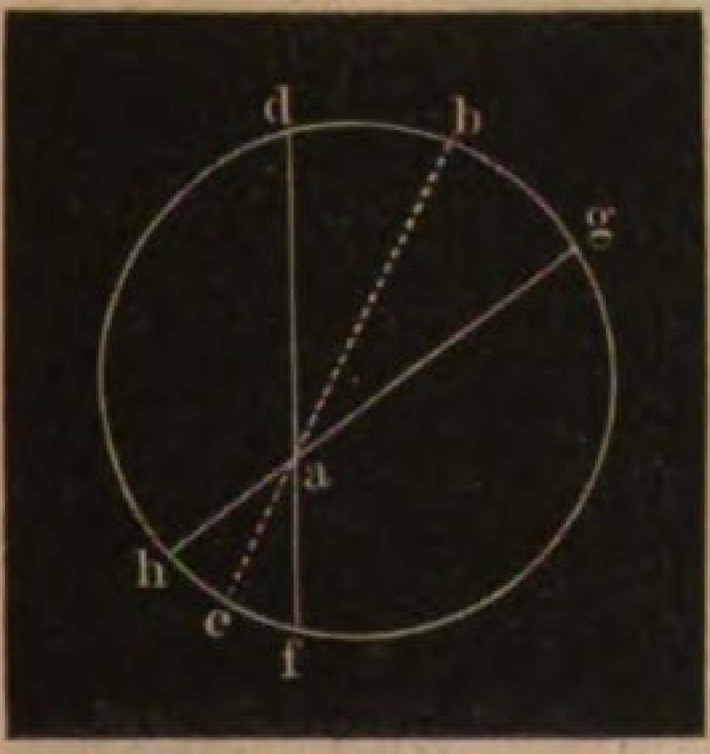
Fig. 112.



und 2 Zoll Durchmesser hatte, verhielten sich die Intensitäten in der Mitte, 2 Zoll vom Ende, 1 Zoll vom Ende und am Ende selbst wie 1 : 1,25 : 1,8 : 2,3. Von der Mitte ausgehend, ändert sich also anfangs die Intensität nur wenig, nimmt aber nahe an den Enden in einem raschen Verhältniß zu. Noch weit stärker wird das Probescheibchen geladen, wenn man es so an das Ende des Cylinders hält, daß seine Fläche nicht auf dem Cylinder aufliegt, sondern daß seine Ebene in die Verlängerung der Cylinderaxe fällt. Ganz ähnliche Resultate erhält man, wenn man den elektrischen Zustand einer Scheibe, etwa eines Elektrophordeckels, untersucht.

Daß eine solche Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche von Körpern stattfinden müsse, welche nach verschiedenen Richtungen hin ungleiche Ausdehnung haben, läßt sich auch schon durch eine einfache Betrachtung einsehen. Wenn sich auf der Oberfläche eines isolirten Leiters freie Elektricität verbreitet, so bleiben doch die Theilchen im Inneren in ihrem natürlichen Zustande. Ein Element der Oberfläche wirkt aber zersetzend auf die noch verbundenen Elektricitäten eines Theilchens im Inneren, es zieht die ungleichnamige E an und stößt die gleichnamige ab, es würde also eine Zersetzung erfolgen, wenn nicht von dem diametral gegenüberliegenden Elemente der Oberfläche eine ganz gleiche Wirkung im entgegengesetzten Sinne ausgeübt würde. Es sei a (Fig. 113) ein Punkt im Inneren einer elektrisirten Kugel. Ziehen wir durch a irgend eine gerade Linie, so trifft diese die Kugeloberfläche in zwei Punkten, b und c. Denken wir uns nun eine Linie df, welche mit bc einen kleinen Winkel macht, um die Axe bc umgedreht, so entstehen zwei Kegel, welche mit ihren Spitzen in a zusammentreffen, und deren Grundflächen zwei Stückchen der Kugeloberfläche sind, die in unserer Figur freilich nur als Linien, dbg und hcf, erscheinen. Man sieht nun leicht ein, daß, wenn die Kugel elektrisirt ist und sich die Elektricität im Zustande des Gleichgewichts befindet, daß dann die über das Flächenstück dg verbreitete Elektricität die Wirkung aufheben müsse, welche die auf dem Flächenstück hf befindliche auf den Punkt a ausübt. Nun aber sind die Entfernungen ab und ac nicht gleich, dg liegt weiter von a als hf, wenn also die Wirkungen gleich sein sollen, so muß sich auf dem Flächenstück dg mehr Elektricität befinden als auf hf, und zwar müssen sich die Mengen der Elektricität auf dg und hf verhalten wie die Quadrate von ab und ac. Wäre z. B. ac halb so groß wie ab, so müßte auf dem Flächenstück dg 4mal so viel Elektricität verbreitet sein als auf hf. Nun aber verhalten sich die Flächenstücke dg und hf selbst wie die Quadrate von ab und ac, d. h. in unserem Falle ist die Fläche dg 4mal so groß als die Fläche hf. Wenn aber auf einer Fläche, welche 4mal so groß ist als eine andere, 4mal so viel Elektricität verbreitet ist als auf dieser, so ist klar, daß die Dichtigkeit der Elektricität auf beiden Flächen gleich groß sein müsse.

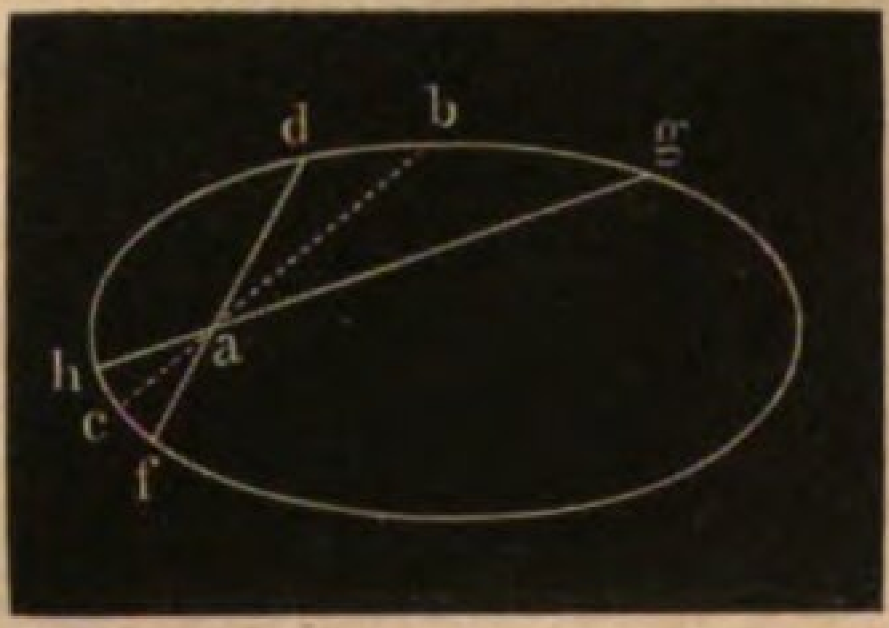
Fig. 113.



Wenden wir dasselbe Raisonnement auf einen nicht kugelförmigen Körper

an. Die Elektricität auf dem Flächenstück dg, Fig. 114, die wir mit M bezeichnen wollen, und die auf dem Flächenstück hf, die mit m bezeichnet sein mag, werden auf den Punkt a gleiche und entgegengesetzte Wirkungen hervorbringen; wenn sich M und m verhalten wie ab^2 zu ac^2. Wenn sich nun die Flächenstücke dg und hf ebenfalls verhielten wie ab^2 zu ac^2, so würde daraus folgen, daß die Dichtigkeit der E auf beiden gleich groß wäre. Dies ist aber nicht der Fall; das Flächenstück dg ist weit größer, als es diesem Verhältnisse entspricht, eine $n$fache Elektricitätsmenge verbreitet sich also nicht über eine $n$fache Fläche, sondern über eine bei weitem größere, die Dichtigkeit der Elektricität auf dg muß also weit geringer sein, als die Dichtigkeit der Elektricität auf hf.

Fig. 114.



45 **Elektrische Wirkung der Spitzen und Flammen.** Je mehr sich die Gestalt eines Körpers von der Kugelgestalt entfernt, desto ungleichförmiger vertheilt sich die Elektricität auf seiner Oberfläche, sie häuft sich an den von seiner Mitte entfernteren Enden am meisten an, und zwar um so mehr, je dünner sie sind. Es geht daraus hervor, daß, wenn man an einem isolirten Leiter eine Spitze anbringt, die Elektricität an dieser Spitze eine außerordentliche Dichtigkeit haben muß. Je dichter aber die Elektricität in einem Punkte ist, desto eher wird sie den Widerstand der Luft, welche sie auf dem Körper zurückzuhalten strebt, überwinden können. Daher kommt es, daß aus Spitzen die Elektricität so leicht ausströmt. Man kann eine Menge von Versuchen anstellen, durch welche dieses Vermögen der Spitzen bewiesen wird, wir wollen jedoch nur einige hervorheben.

1) Wenn man den Conductor einer Elektrisirmaschine mit einer Spitze versieht, so ist es unmöglich, den Conductor so zu laden, daß man aus ihm kräftige Funken ziehen könnte. Alle durch die Umdrehung der Maschine erzeugte Elektricität entweicht alsbald durch die Spitze.

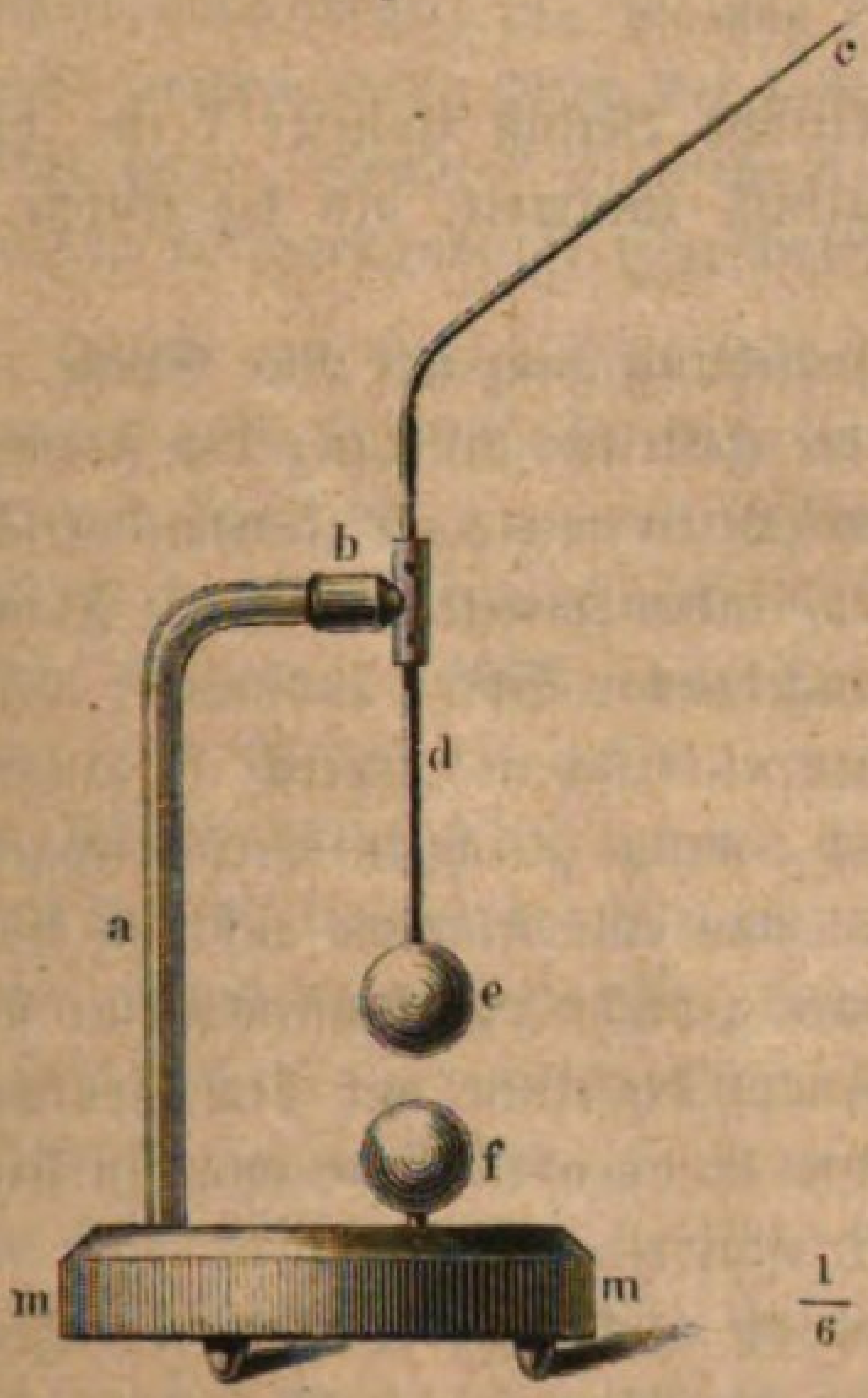
2) Wenn man eine Spitze, die mit dem Boden in leitender Verbindung steht, dem Conductor der Maschine bis auf einige Decimeter nähert, so ist es gleichfalls unmöglich, ihn zu laden. Die Elektricität des Conductors zerlegt die verbundenen Elektricitäten der Spitze, sie stößt die gleichnamige ab und zieht die ungleichnamige an, diese ungleichnamige Elektricität häuft sich in der Spitze so stark an, daß sie nach dem Conductor überströmt, um seine Elektricität zu neutralisiren.

Sehr schön läßt sich die elektrische Wirkung der Spitzen durch den Apparat Fig. 115 darstellen. Am unteren Ende des oben zugespitzten Messingdrahtes cd ist eine hohle Messingkugel e befestigt, welche ungefähr 1 Zoll Durchmesser hat. Dieser Draht steckt in einer federnden Hülse, welche durch die gläserne Säule a getragen wird. In demselben Brettchen, in welchem die Glassäule a befestigt

ist, steckt auch ein kurzer Messingstift, welcher eine zweite, der oberen gerade gegenüberstehende Metallkugel *f* trägt.

Wird *f* durch Anhängen einer Metallkette mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt und die Spitze *c* dem Conductor einer in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine genähert, so kann man auf demselben keine merkliche Ladung hervorbringen. Schiebt man den Draht *cd* so weit herab, daß die Kugeln *e* und *f* sich berühren, so findet ein continuirliches Wegströmen der vom Conductor abgestoßenen Elektricität in den Boden und ein ebenso beständiges Ausströmen der von ihm angezogenen Elektricität aus der Spitze zum Conductor statt. — Sobald man aber den Draht *cd* etwas in die Höhe zieht, so daß ein Zwischenraum zwischen den Kugeln *e* und *f* ist, so findet zwar noch ein beständiges Ausströmen von der Spitze *c* nach dem Conductor statt, die abgestoßene Elektricität wird aber in der Kugel *e* angehäuft, bis sie eine hinlängliche Dichtigkeit erlangt, um ein Ueberschlagen von Funken zwischen *e* und *f* zu bewirken. Die Funken folgen um so langsamer, sie sind aber auch um so kräftiger, je weiter die Kugeln *e* und *f* von einander abstehen.

Fig. 115.



$\frac{1}{6}$

Wir werden in der Meteorologie bei der Betrachtung der Blitzableiter auf diese Eigenschaft der Spitzen zurückkommen.

Winkel und scharfe Kanten, die sich an leitenden Körpern befinden, wirken ganz auf dieselbe Weise wie die Spitzen. Man muß deshalb sorgfältig alle eckigen Formen vermeiden, wenn man Apparate construiren will, welche bestimmt sind, die Elektricität zu halten.

Wir haben gesehen, daß die abstoßende Kraft zweier isolirten, gleichnamig elektrisirten Leiter verdoppelt wird, wenn man die Ladung des einen verdoppelt; wenn man aber auch die Ladung des anderen verdoppelt, so wird die zwischen beiden wirkende abstoßende Kraft 4mal größer. Man kann allgemein sagen, die abstoßende Kraft, mit welcher zwei gleichnamig elektrisirte isolirte Leiter auf einander wirken, wird n^2mal größer, wenn sowohl die Ladung des einen als auch die des anderen $n$mal so groß gemacht wird. Das Bestreben der Elektricität, sich von einem isolirten Leiter zu entfernen, rührt aber nur daher, daß die E an irgend einer Stelle seiner Oberfläche von der gleichnamigen Elektricität abgestoßen wird, welche über die ganze übrige Oberfläche verbreitet ist. Betrachten wir nun irgend zwei Stücke a und b der Oberfläche eines isolirten Leiters, so wird die Elektricität in a diejenige in b abstoßen. Wenn aber die elektrische Ladung des ganzen Körpers verdoppelt wird, so wird die Dichtigkeit

der elektrischen Schicht sowohl in a als auch in b doppelt so groß sein, als sie vorher war, die Abstoßung zwischen der Elektricität der beiden Flächenstücken wird also 4mal so groß, als sie vorher war. Bei einer $n$fachen Ladung ist sowohl in a als auch in b die $n$fache Dichtigkeit, mithin findet eine n^2mal so große Abstoßung Statt.

Es ergiebt sich daraus, daß der elektrische Verlust isolirter Leiter durch Ausströmen in einem weit rascheren Verhältniß zunimmt, als die Größe der Ladung.

Eine Flamme wirkt in elektrischer Beziehung ganz wie eine Spitze, nur noch weit kräftiger. In der That läßt sich die elektrische Wirkung der Flammen kurz so charakterisiren: Wenn ein elektrisirter Leiter mit einer Flamme versehen wird, so verliert er alsbald seine Elektricität, indem dieselbe durch die Flamme wie durch eine auf dem elektrisirten Leiter angebrachte Spitze ausströmt; bringt man dagegen eine Flamme in die Nähe eines elektrischen Körpers, so saugt sie die Elektricität gleichsam ein, wie dies auch, wenn gleich in weit geringerem Maaße, eine metallische Spitze thut. Setzt man eine Flamme auf den Knopf einer Leydner Flasche, welche in der Nähe einer gedrehten Elektrisirmaschine steht, so ladet sich die Flasche, als ob man den Knopf derselben mit dem Conductor derselben verbunden hätte. — Volta brachte brennenden Schwamm an seinen Elektroskopen an, um gleichsam die Luftelektricität einzusaugen.

Schon Gilbert und Kircher kannten die elektrische Wirkung der Flammen; Priestley bewies durch Versuche, daß die Flamme die Elektricität leite, und Volta verglich zuerst die elektrische Wirkung der Flammen mit der Wirkung metallischer Spitzen; doch waren seine Ansichten über die Wirkung der Spitzen selbst zum Theil irrig, indem er glaubte, daß das Ausströmen der Elektricität sowohl wie das Einsaugen derselben eine Folge des elektrischen Windes sei, von welchem noch weiter unten die Rede sein wird. Rieß aber, welcher die Wirkung der Flammen auf das vollständigste studirt hat (siehe Pogg. Annal. Bd. LXI. und Rieß »die Lehre von der Reibungselektricität«, Berlin 1853), wies nach, daß die elektrische Wirkung der Flammen auch unter solchen Umständen eintritt, wo die Anhäufung der Elektricität viel zu gering ist, um einen elektrischen Wind veranlassen zu können.

Die eben besprochene Wirkung der Flammen erklärt sich durch den Umstand, daß von der Flamme aus gewissermaßen elektrisch leitende Dampfspitzen aufsteigen, welche endlich an Feinheit alle metallene Spitzen weit übertreffen.

46 **Gebundene Elektricität.** Das Wesen der gebundenen Elektricität ist bereits oben S. 87 dargelegt worden. Es wurde daselbst erwähnt, daß die gebundene Elektricität durchaus keine Eigenschaften besitze, welche sie von der freien Elektricität specifisch unterschiede, daß sie alle Eigenschaften der gewöhnlichen theile, daß sie nur durch die Nachbarschaft einer Quantität Elektricität des entgegengesetzten Zeichens nach einer bestimmten Stelle hingezogen, an dieser angehäuft und zurückgehalten werde.

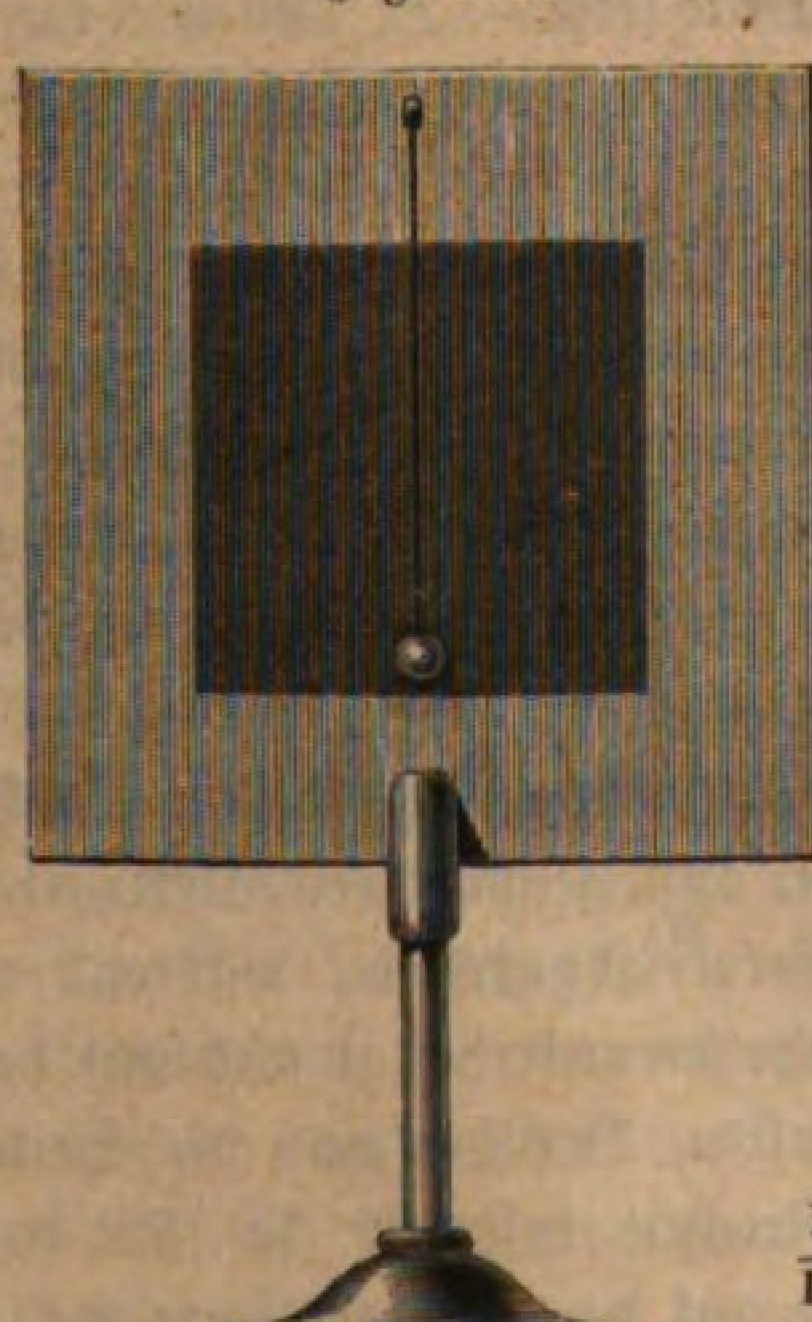
Da der Ausdruck »gebundene Elektricität«, welcher durch Lichten-

berg in die Wissenschaft eingeführt wurde, zu mancherlei verkehrten Ansichten Veranlassung gegeben hat, so schlug Rieß vor, diesen Ausdruck ganz zu vermeiden und statt dessen den Namen Influenzelektricität einzuführen. Da jedoch die Bezeichnung »gebundene Elektricität« nun einmal in der Wissenschaft eingebürgert ist, so mag er wohl auch ferner noch ohne Nachtheil gebraucht werden, wenn durch die bestimmte Erklärung, daß die gebundene Elektricität keine besondere Eigenschaft vor der gewöhnlichen voraus habe, alle etwaigen Mißverständnisse abgeschnitten sind.

Wenn man zwei isolirte Leiter, etwa zwei isolirte Messingkugeln so neben einander aufstellt, daß sie noch durch eine Luftschicht von einander getrennt sind und dann die eine mit positiver, die andere mit negativer Elektricität ladet, so kann man abwechselnd die eine und dann wieder die andere mit dem Boden in leitende Verbindung bringen, ohne daß alle Elektricität abgeleitet wird. Die Elektricität auf der einen Kugel wird nämlich durch die entgegengesetzte Elektricität auf der anderen angezogen, sie ist wenigstens zum Theil gebunden und kann deshalb nicht entfernt werden. Je näher die beiden Elektricitäten einander gebracht werden, desto stärker ziehen sie sich an, desto vollständiger ist also auch ihre gegenseitige Bindung; wenn aber die beiden Leiter nur durch eine Luftschicht getrennt sind, so kann man sie bei einigermaßen starker Ladung nicht sehr nähern, ohne daß die Luftschicht durchbrochen wird und ein Funken überspringt. Wenn also die Bindung möglichst vollkommen sein soll, so müssen die beiden mit entgegengesetzten Elektricitäten geladenen Leiter nicht durch Luft, sondern durch einen anderen Isolator getrennt sein, welcher dem Uebergange der Elektricität einen größeren Widerstand entgegensetzt; man wählt dazu am besten Glas oder Harz.

Um die Eigenschaften der gebundenen Elektricität näher zu untersuchen, ist die Franklin'sche Tafel ganz besonders geeignet. Fig. 116 stellt eine Glastafel vor, deren Seiten ungefähr 1 Fuß lang sind. In der Mitte ist die Glastafel auf jeder Seite mit Stanniol belegt, so daß das Glas an dem Rande ungefähr handbreit frei bleibt. Um die unbelegten Stellen des Glases besser isolirend zu machen, kann man sie mit Firniß überstreichen. Wenn man nun die vordere Belegung mit positiver, die hintere mit negativer Elektricität ladet, so sind die beiden entgegengesetzten Elektricitäten einander sehr nahe, sie sind nur durch eine Glasscheibe getrennt, die sie jedoch nicht zu durchbrechen im Stande sind; die Bindung wird also hier ziemlich vollständig stattfinden.

Fig. 116.



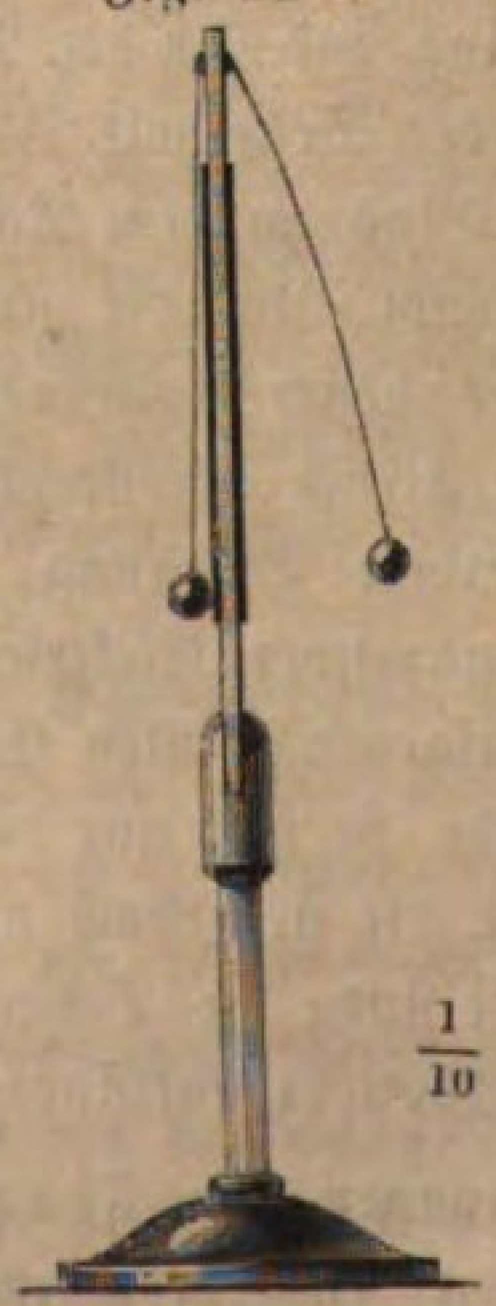
$\frac{1}{10}$

Um die beiden Belegungen der Franklin'schen Tafel mit den entgegengesetzten

Elektricitäten zu laden, hat man nicht nöthig, jede mit einer Elektricitätsquelle in Verbindung zu bringen. Man bringe die eine Belegung, etwa die vordere, mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in leitende Verbindung, so wird ein Theil $+ E$ vom Conductor auf die Belegung übergehen. Die Elektricität auf der vorderen Belegung wirkt vertheilend auf die verbundenen Elektricitäten der hinteren; und sobald man diese mit dem Boden in leitende Verbindung setzt, strömt die $+ E$ in den Boden über und die $- E$ verbreitet sich auf der hinteren Belegung. Die $- E$ auf der hinteren Belegung wirkt aber bindend auf die $+ E$ der vorderen zurück, und dadurch wird es möglich, daß von neuem Elektricität vom Conductor aus auf die vordere Belegung übergeht, die auch durch ihre vertheilende Kraft wieder die $- E$ auf der hinteren Belegung vermehrt. Man kann auf diese Weise leicht die eine Belegung mit $+ E$, die andere mit $- E$ laden.

So klein auch die Entfernung der beiden Belegungen sein mag, so ist doch die gegenseitige Bindung nicht vollständig. Damit auf der einen Seite die E vollständig gebunden sei, muß auf der anderen Seite ein Ueberschuß von Elektricität, also freie E vorhanden sein. Man berühre die eine Belegung der geladenen Franklin'schen Tafel, etwa die hintere, mit dem Finger, während die vordere nicht mehr mit dem Conductor verbunden ist, so kann man nur etwas E ableiten, auf der hinteren Belegung bleibt immer noch eine starke Ladung $- E$ zurück, welche vollständig gebunden ist. Damit aber diese $- E$ vollständig gebunden sei, ist durchaus erforderlich, daß auf der anderen Seite ein Ueberschuß von $+ E$ sich befinde. Daß es auch wirklich so sei, davon kann man sich leicht überzeugen. Nachdem man alle nicht gebundene $- E$ der hinteren Belegung abgeleitet hat, wird von der vorderen Belegung bei Annäherung des Fingers ein schwacher Funken überspringen, ein Beweis, daß hier freie Elektricität vorhanden war. Hat man nun von der vorderen Belegung alle freie $+ E$ weggenommen, so ist nun wieder auf der anderen Seite freie $- E$, und man kann nun von der hinteren Belegung einen schwachen Funken entlocken u. s. w.

Fig. 117.



$\frac{1}{10}$

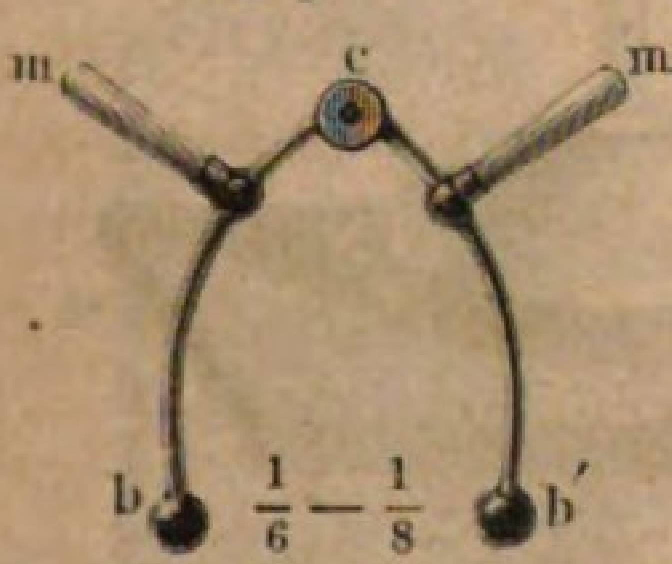
Es läßt sich dieser Ueberschuß an Elektricität, welcher auf der einen Belegung vorhanden sein muß, um die entgegengesetzte E auf der anderen Seite vollständig zu binden, auch dem Auge sichtbar machen. Man befestige mit etwas Wachs auf jeder Seite der Tafel ein leichtes elektrisches Pendel in der Weise, wie man in Fig. 117 sieht, welche die Scheibe des Apparates Fig. 116 im Durchschnitt zeigt. Auf der Seite, auf welcher freie Elektricität sich befindet, wird das Pendel abgestoßen, während es auf der anderen Seite gerade herunterhängt und mit der Belegung in Berührung bleibt. Berührt man die Seite, auf welcher sich freie Elektricität befindet, so fällt das Pendel nieder, während das auf der anderen Seite steigt. Man kann also durch abwechselndes Berühren auf der

einen und auf der anderen Seite abwechselnd das eine und das andere Pendel steigen machen.

Diese Erscheinung mit den Pendeln läßt sich leicht erklären. Wenn auf der einen Seite ein Ueberschuß von $+E$ ist, so wirkt sie anziehend sowohl auf die E der anderen Belegung, als auch auf die wenige $-E$, die sich im Kügelchen der anderen Belegung befindet. Freilich wirkt die $-E$ der hinteren Belegung abstoßend auf die $-E$ im Kügelchen, aber die Kraft, mit welcher der Ueberschuß der $+E$ das negative Kügelchen anzieht, ist größer als die Kraft der Abstoßung. Leitet man aber die überschüssige $+E$ ab, so verbreitet sich die freigewordene $-E$ zum Theil über das Kügelchen, welches nun abgestoßen wird, weil jetzt kein Ueberschuß von $+E$ auf der anderen Seite mehr vorhanden ist, welcher es zurückhalten könnte.

Dadurch, daß man abwechselnd die eine und dann die andere Belegung mit dem Finger berührt und so immer die freie Elektricität auf der einen Seite wegnimmt, wird allmälig der Apparat ganz entladen. Wenn man aber die beiden Belegungen zugleich berührt, oder sie auf irgend eine andere Weise in leitende Verbindung setzt, so findet die Entladung auf einmal Statt, indem die angehäuften entgegengesetzten Elektricitäten der beiden Belegungen auf diesem Wege zu einander übergehen. Man wendet zu diesem Zwecke gewöhnlich den Fig. 118 dargestellten **Entlader** an. Er besteht aus zwei gebogenen Messingstäben bc und $b'c$, welche bei c durch ein Charnier verbunden sind. Jeder der Arme des Ausladers endet mit einer kleinen Messingkugel (b und b') und ist außerdem noch mit einem isolirten Handgriff (m und m' versehen. Man berührt die eine Belegung mit der einen Kugel und nähert die andere Kugel der gegenüberstehenden Belegung. Schon in einiger Entfernung springt ein Funken mit lebhaftem Licht und lautem Knacken über. Diese Entladung ist leicht zu erklären. Nehmen wir an, die Kugel b sei mit derjenigen Belegung in Verbindung gebracht, auf welcher sich freie Elektricität befindet, so wird sich diese freie E über den ganzen Auslader verbreiten; dadurch aber wird ein Theil der Elektricität auf der anderen Belegung frei, und diese wirkt durch die Luftschicht hindurch, um die entgegengesetzte in der Kugel b' zu concentriren. Je näher nun die Kugel b' der zweiten Belegung gebracht wird, ein desto größerer Antheil der E in der berührten Belegung wird nach b' übergehen, bis endlich die Spannung hinreicht, um die Luftschicht zu durchbrechen.

Fig. 118.



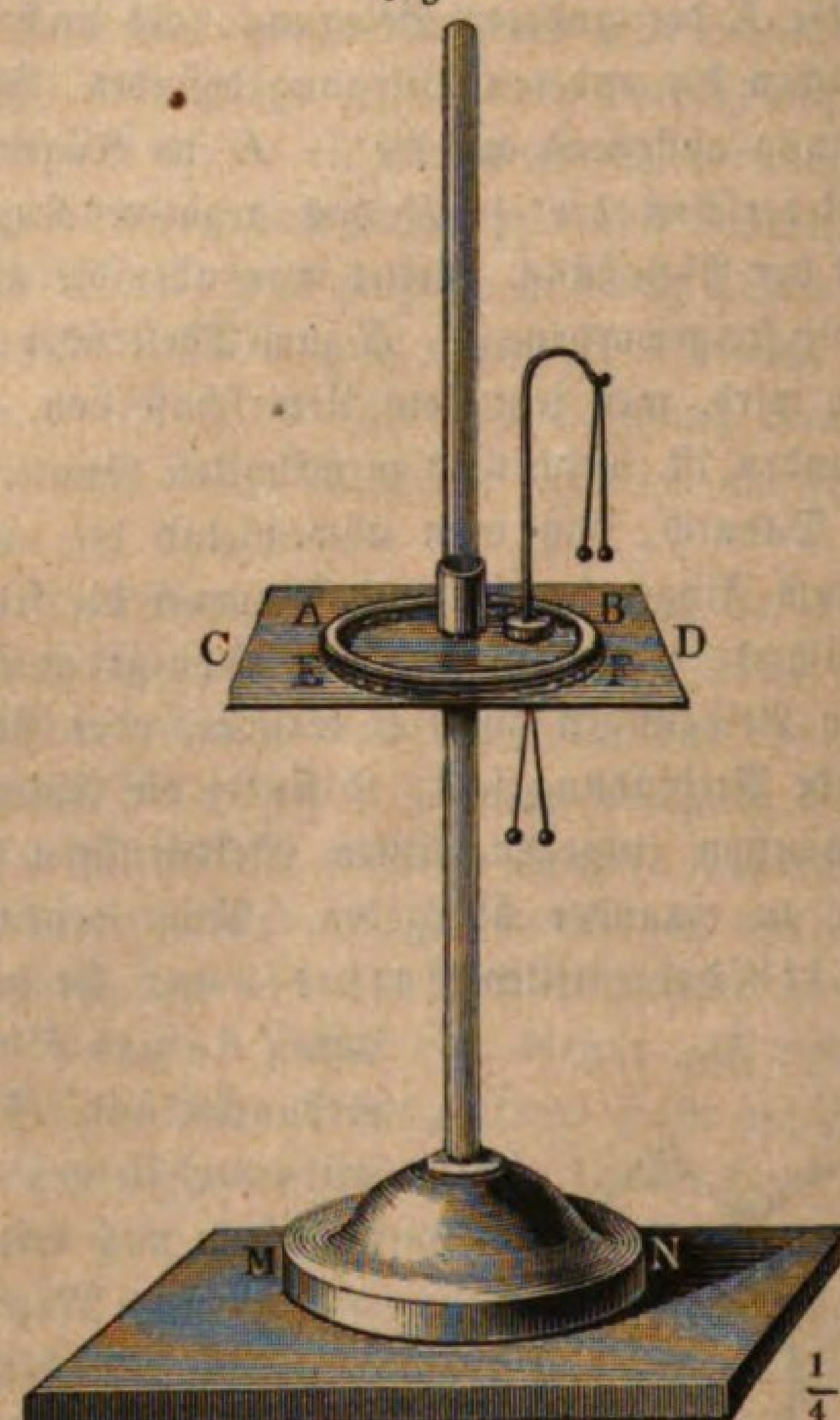
Hätte man die Kugel b mit derjenigen Belegung in Berührung gebracht, auf welcher sich keine freie E befindet, so hätte die freie E der anderen Seite zersetzend auf die verbundenen Elektricitäten der genäherten Kugel b' gewirkt, in Folge dessen wäre ein Theil der bis dahin gebunden gewesenen E der berührten Belegung frei geworden, um nach b' überzugehen, bei hinlänglicher Annäherung von b' an die nicht berührte Belegung muß also ebenfalls die Entladung erfolgen.

Fig. 119 zeigt eine andere Form des **Ausladers**, mit nur einem Glasgriff *m*, welche noch mehr verbreitet ist als die zuerst besprochene und welche wohl ohne weitere Erläuterung verständlich sein wird.

Fig. 119.



Fig. 120.



Ein anderer Apparat, welcher sehr geeignet ist, die Erscheinungen der gebundenen Elektricität nachzuweisen, ist der in Fig. 120 abgebildete. Ein Holzfuß MN trägt einen wohl isolirenden Glasstab, auf welchem oben eine runde, am Rande mit einem dickeren Wulste versehene Metallplatte EF aufgekittet ist. Auf diese Metallplatte wird eine Glasplatte CD gelegt, welche an allen Seiten die Metallplatte wenigstens um 1 Zoll überragen muß. Auf diese Glasplatte endlich wird gerade der ersteren gegenüber eine zweite Metallplatte AB aufgesetzt, welche gleichfalls mit einem isolirenden Glasgriffe versehen ist.

Die untere Platte ist mit einem Häkchen versehen, an welchem ein elektrisches Pendelpaar (Hollundermarkkügelchen an leinenen Fäden) angehängt werden kann. Die obere Platte trägt einen oben hakenförmig gebogenen Draht, an welchem gleichfalls ein solches Pendelpaar hängt.

Läßt man nun mittelst des Ausladers Fig. 119 einige Funken vom Conductor der Elektrisirmaschine auf die obere Platte AB überschlagen, während die untere ableitend berührt ist, so divergiren die oberen Pendel, die unteren aber nicht. Entfernt man den Finger von der unteren Platte, um die obere ableitend zu berühren, so fallen die oberen zusammen und die unteren gehen

auseinander. — Hat nach einiger Zeit ruhigen Stehenlassens der Apparat so viel Elektricität verloren, daß beide Pendelpaare nur noch schwach divergiren, so fahren sie noch einmal stark auseinander, wenn man an dem isolirenden Handgriff haltend die Metallplatte *AB* von der Glasplatte *CD* abhebt, weil nun die bis dahin in den Platten gebunden gewesene Elektricität sich frei über das ganze leitende System, also auch über die Pendel verbreiten kann.

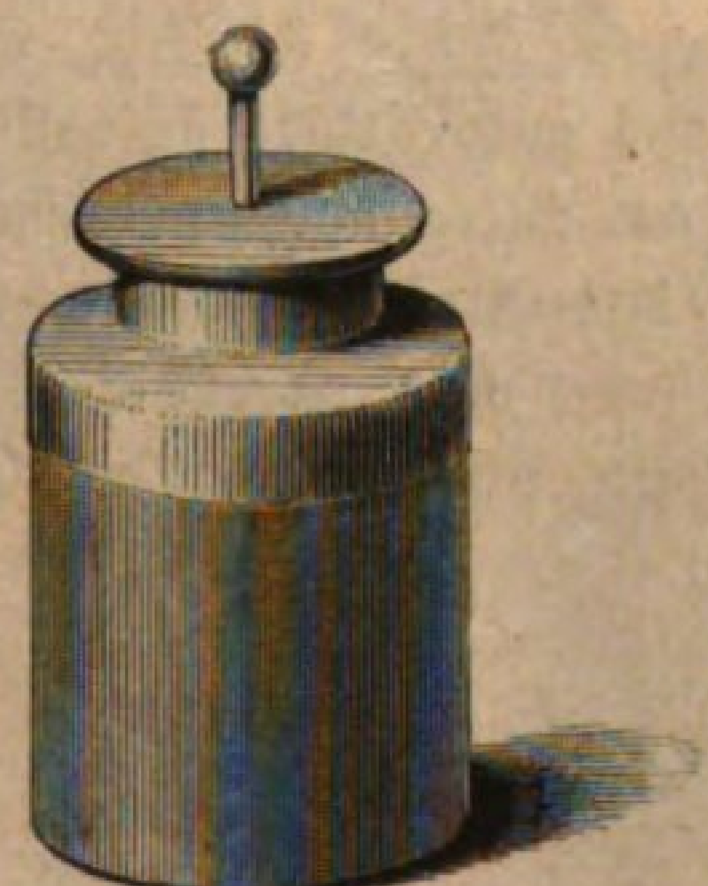
Die Leydner Flasche ist eigentlich nur eine veränderte Form der 47
Franklin'schen Tafel; sie besteht aus einem Glasgefäß, welches außen bis auf einige Zoll vom Rande mit Stanniol überklebt ist; innen ist das Gefäß auf ähnliche Weise mit einer Belegung versehen oder bei kleineren Flaschen mit engem Halse mit einer leitenden Substanz, etwa mit Feilspähnen oder unächtem Goldschaum gefüllt. Die innere Belegung ist mit einem Messingstabe verbunden, welcher durch den Stopfen oder den Deckel des Gefäßes hindurchgeht und mit einem Knopfe endigt. Fig. 121, 122 und 123 stellen verschiedene For-

Fig. 121.



$\frac{1}{5}$

Fig. 122.



$\frac{1}{5} - \frac{1}{10}$

Fig. 123.



$\frac{1}{5} - \frac{1}{10}$

men der Leydner Flasche dar. Der nicht belegte Theil des Glases muß gefirnißt werden. Um die Flasche zu laden, bringt man die äußere Belegung mit dem Boden, den Knopf mit dem Conductor der Maschine in leitende Verbindung. Man kann aber auch umgekehrt die innere Belegung mit dem Boden und die äußere mit dem Conductor der Maschine verbinden.

Wenn man zur Entladung der Flasche mehrere Leiter zugleich anwendet, so wählt die Elektricität immer den besten. Drückt man z. B. mit der einen Hand einen Metalldraht an die äußere Belegung, so kann man ungestraft mit der anderen Hand das andere Ende des Drahtes an den Knopf halten; der Entladungsschlag geht durch das Metall und nicht durch den Körper; der Draht darf jedoch nicht zu dünn sein.

Wenn man eine Leydner Flasche entladen hat und sie dann nur ganz kurze Zeit stehen läßt, so giebt sie einen zweiten, freilich weit schwächeren Entladungsschlag. Die Elektricität bleibt nämlich nicht bloß auf den metallischen Belegungen der Leydner Flasche, sondern sie geht zum Theil auf die Oberfläche

des Glases über. Daß die Sache wirklich so sei, läßt sich an einer Flasche zeigen, deren Belegungen man wegnehmen kann. Eine solche Flasche ist Fig. 124 dargestellt; in das Blechgefäß Fig. 125 wird nämlich zuerst das Glasgefäß Fig. 126 und in dieses endlich das die innere Belegung bildende Blechgefäß Fig. 127 gesetzt. Nachdem man diese Flasche geladen hat, nehme man

Fig. 124.



Fig. 125.



Fig. 126.



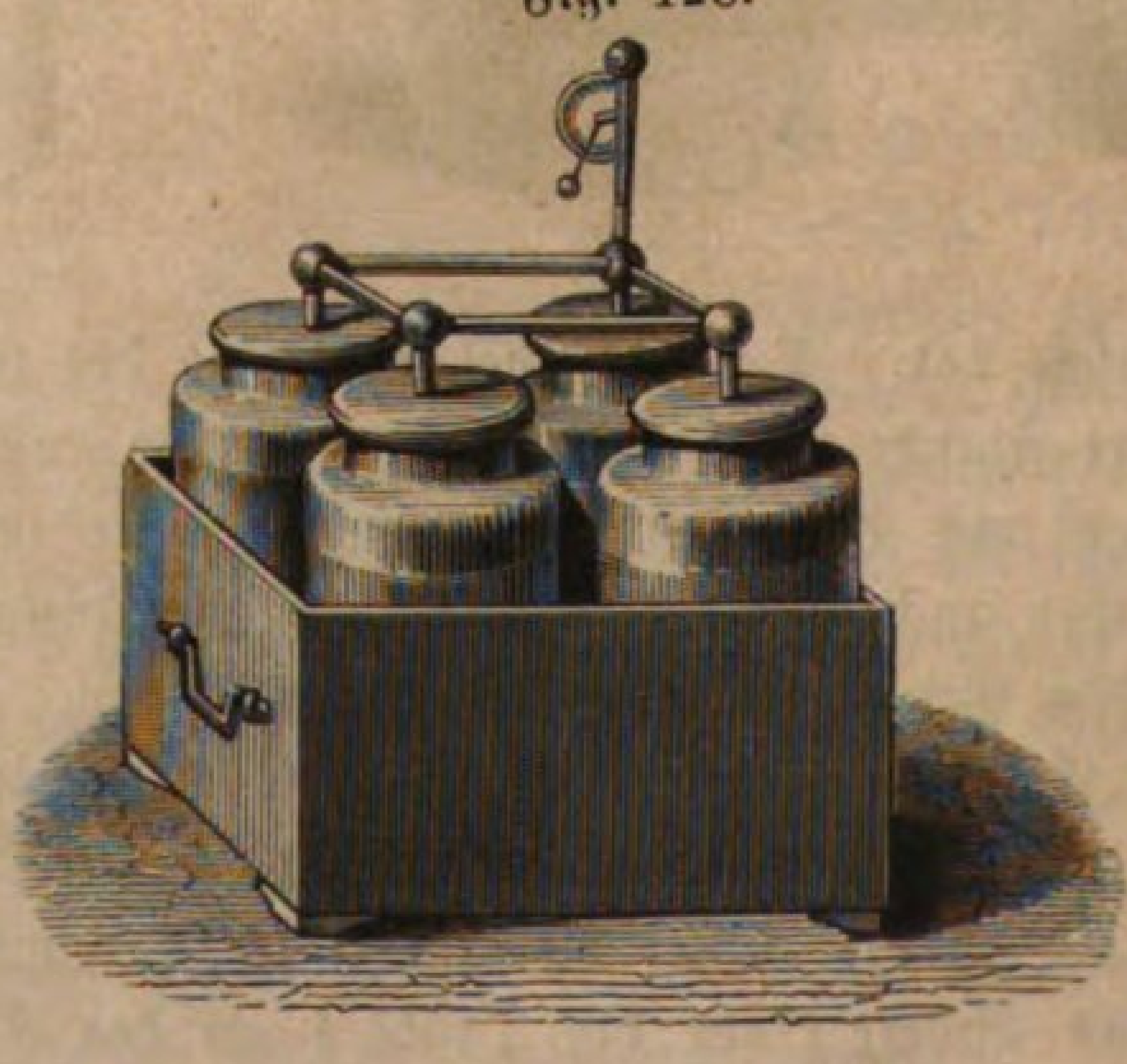
Fig. 127.



$\frac{1}{6}$

die innere Belegung heraus und entlade sie vollständig. Dann hebe man das Glasgefäß aus der äußeren Belegung und nehme auch dieser alle ihre Elektricität. Setzt man nun das Glas wieder in die äußere Belegung und die innere in das Glas, so findet man, daß die Flasche noch zum Theil geladen ist, und diese Ladung hatte offenbar auf den gegenüberstehenden Oberflächen des Glasgefäßes gehaftet.

Fig. 128.

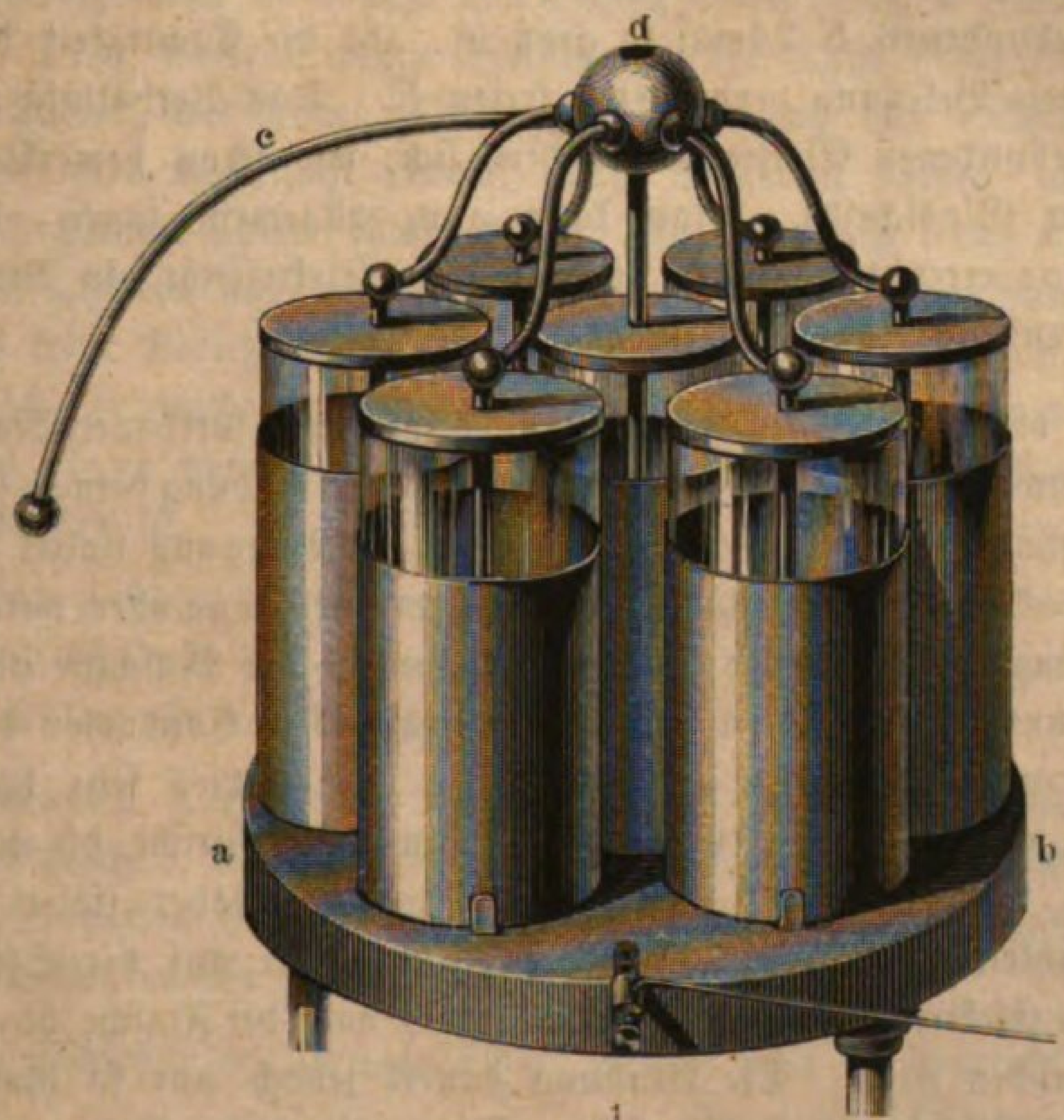


$\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{15}$

Um recht starke Ladungen zu erhalten, muß man möglichst große Flaschen nehmen, oder man muß mehrere Flaschen zu einer elektrischen Batterie verbinden. Eine solche Batterie ist Fig. 128 dargestellt. Alle äußeren Belegungen der Flaschen sind unter sich in leitender Verbindung, ebenso alle inneren Belegungen.

Fig. 129 stellt eine für messende Versuche sehr zweckmäßige, von Rieß angegebene Construction der elektrischen Batterie dar. Auf einem mit Stanniol überzogenen, durch Glasfüße getragenen Brett *ab* stehen sieben möglichst gleiche Flaschen von ungefähr $2^1/_2$ Quadratfuß innerer Belegung. Der Knopf der mittleren Flasche wird durch eine hohle Messingkugel *d* von 4 Zoll Durchmesser gebildet, welche das gebogene, mit einer kleinen Metallkugel endigende Rohr *c* trägt, und welche oben mit einer Höhlung zum Einstecken eines Quadrantenelektrometers versehen ist. Mit den Knöpfen der sechs übrigen um die mittlere herumstehenden Flaschen ist die Kugel *d* durch metallische Bogen verbunden, welche aber nach Belieben von der Kugel *d* entfernt werden können. Die Knöpfe der äußeren Flaschen bilden nämlich Charniere, welche ein Zurückschlagen jener Verbindungsbogen gestatten.

Fig. 129.



$\frac{1}{15}$

An dem Brett *ab* ist eine Klemmschraube angebracht, in welcher ein die Verbindung mit dem Boden oder mit der Maaßflasche (von der alsbald weiter die Rede sein wird) herstellender Draht eingeschraubt wird.

Gränze der Flaschenladung. Es ist nun noch die Frage zu beantworten, welches die Gränze der Ladung sei, welche man einer Franklin'schen Tafel oder einer Leydner Flasche ertheilen kann. Diese Gränze hängt von der Elektricitätsquelle ab, mit welcher man die eine Belegung in Berührung bringt. 48

Damit auf der ableitend berührten Belegung alle E gebunden sei, muß, wie wir schon wissen, auf der anderen Seite noch freie Elektricität vorhanden sein. Bezeichnen wir mit M die Menge aller Elektricität, welche sich auf der mit der Elektricitätsquelle berührten Belegung befindet, so wird auf der anderen Seite nicht eine gleiche Menge M der entgegengesetzten Elektricität gebunden, sondern eine geringere Menge, die wir mit m bezeichnen wollen. m wird ein aliquoter Theil von M sein, der um so größer ist, je näher die Belegungen einander, je dünner also die Glasplatten sind. Nehmen wir z. B. an, es sei $m = 0{,}98\ M$. Die Elektricitätsmenge m auf der ableitend berührten Belegung bindet aber einen Theil y von der auf der anderen Seite befindlichen Elektricitätsmenge M, und zwar wird für unseren Fall $y = 0{,}98\ m$ sein. Setzt man nun für m seinen Werth $0{,}98\ M$, so kommt $y = 0{,}98^2\ M = 0{,}9604\ M$, d. h. von der Elektricitätsmenge M sind nahe $^{24}/_{25}$ gebunden und $^{1}/_{25}$ ist frei. Es wird also so lange von dem elektrisirten Leiter Elektricität auf die Belegung übergehen, bis die Dichtigkeit der gebundenen E 24mal so groß ist, als die Dichtigkeit der noch außerdem über diese Belegung verbreiteten freien E. Das Verhältniß zwischen der freien und gebundenen Elektricität ändert sich, wie schon bemerkt wurde, mit der Dicke der Glasscheibe. Man kann ganz allgemein sagen, daß die Gränze der Ladung erreicht sei, wenn die noch freie Elektricität ein Bruchtheil, $^{1}/_{n}$, von der gebundenen ist.

Wenn man die innere Belegung der Flasche mit einer fortdauernden Quelle von Elektricität, etwa dem Conductor der Maschine, in Verbindung bringt, so treten nun folgende Verhältnisse ein. Wenn man die äußere Belegung isolirt läßt, so geht eine bestimmte Menge Elektricität q auf die innere Belegung über, welche aber frei ist. Die Menge q wird durch fortgesetztes Drehen der Maschine nicht vermehrt, es ersetzt nur, was verloren geht. Wenn auf dem Conductor der Maschine ein Quadrantenelektrometer angebracht ist, so hat dies sehr bald eine Stellung erreicht, welche dem Maximum der Spannung entspricht, die man dem Conductor geben kann. Sobald man aber die andere, bisher isolirt gebliebene Belegung ableitend berührt, fällt das Elektrometer auf der Stelle nieder, weil jetzt alle Elektricität vom Conductor gleich nach der Flasche hingezogen und daselbst gebunden wird. Die Bindung dauert jedoch nur so lange fort, bis das erwähnte Verhältniß zwischen der Menge der gebundenen und noch freien Elektricität stattfindet. Nun aber ist q das Maximum der Dichtigkeit der freien E, welche sich auf der inneren Belegung verbreiten, folglich ist $n q$ die Dichtigkeit der gebundenen Elektricität, welche man auf der mit dem Conductor verbundenen Belegung anhäufen kann. Ist man einmal so weit gekommen, daß die Dichtigkeit der gebundenen Elektricität $n$mal so groß ist, als die der E, welche sich auf der Belegung verbreitet haben würde, wenn die andere Belegung isolirt geblieben wäre, so ist die Gränze der Ladung erreicht, ein ferneres Umdrehen der Maschine ersetzt nur den elektrischen Verlust.

Nicht immer läßt sich die angegebene Gränze der Ladung erreichen, denn wenn man hinlänglich kräftige Maschinen anwendet, so werden die Widerstände,

welche die völlige Vereinigung der Elektricitäten der beiden Belegungen hindern, schon überwunden, es erfolgt von selbst schon eine Entladung, ehe noch die besprochene Gränze erreicht ist, indem entweder das Glas durchbrochen wird, oder ein Funken durch die Luft über den unbelegten Glasrand hin überschlägt.

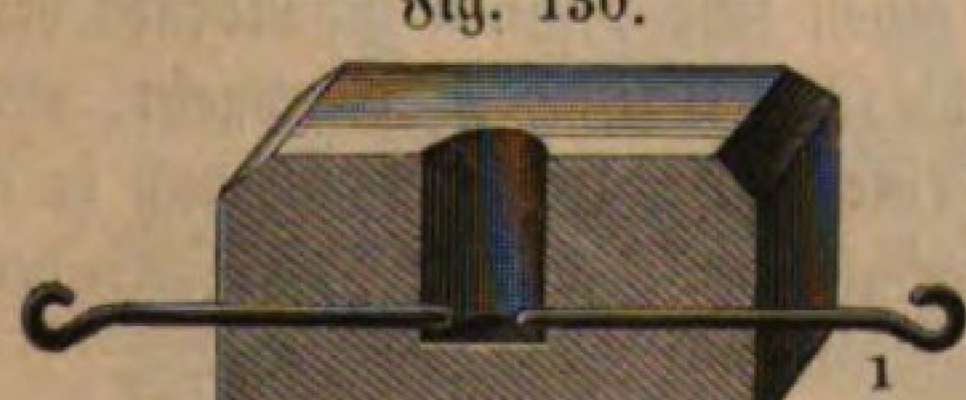
Versuche mit der Leydner Flasche. Wenn der Entladungsschlag einer Leydner Flasche durch den menschlichen Körper hindurchgeht, so bringt er auf das Gefühl eine eigenthümliche, schwer zu beschreibende Empfindung, ein unwillkürliches Zucken der Nerven hervor. Man macht den Versuch, indem man mit der einen Hand die äußere Belegung, mit der anderen den Knopf anfaßt. Bei schwächeren Ladungen ist der Schlag nur in den Vorderarmen fühlbar, bei stärkeren fühlt man ihn auch im Oberarm, und, wenn die Ladung noch stärker gemacht wird, so bringt der Schlag einen heftigen Schmerz in der Brust hervor. Sehr starke Schläge können in der That gefährlich werden. Um kleinere Thiere, wie Vögel, Hasen u. s. w., durch den elektrischen Schlag zu tödten, hat man noch nicht einmal große Batterien nöthig, mit welchen man selbst noch größere Thiere tödten kann. An den durch einen elektrischen Schlag getödteten Thieren hat man bei der anatomischen Untersuchung derselben bis jetzt noch keine Verletzung der Organe entdecken können; nach den Zuckungen aber, welche sie machen, wenn der Schlag nicht ganz hinreichend war, um sie zu tödten, kann man beurtheilen, wie heftig das ganze Nervensystem angegriffen worden ist. 49

Wenn mehrere Personen eine Kette bilden, indem sie einander die Hände geben, und die erste die äußere Belegung der Flasche, die letzte den Knopf anfaßt, so fühlen alle den Schlag auf einmal.

Brennbare Flüssigkeiten kann man mit Hülfe der Leydner Flasche weit sicherer entzünden als mit dem directen Funken vom Conductor der Maschine. Selbst gepulvertes Colophonium, auf Baumwolle gestreut, läßt sich durch den Entladungsfunken der Leydner Flasche entzünden.

Um Schießpulver zu entzünden, wendet man die Vorrichtung, Fig. 130, an. In ein Holzklötzchen ist ein Loch von ungefähr 1/2 Zoll Durchmesser und 1 Zoll Tiefe gebohrt, welches ungefähr zur Hälfte mit Pulver gefüllt wird. Durch zwei seitliche, diametral einander gegenüberstehende Löcher ragen zwei ungefähr 1 Linie dicke Messingdrähte in den unteren Theil dieser Höhlung hinein. Der eine dieser außen etwas umgebogenen Drähte ist mit der äußeren Belegung der Batterie in Verbindung gebracht, während von dem anderen aus eine leitende Verbindung mit der inneren Belegung hergestellt wird. Der Entladungsfunken geht nun in der oben erwähnten Höhlung zwischen den einander gegenüberstehenden Drahtenden über. Zur Ent-

Fig. 130.

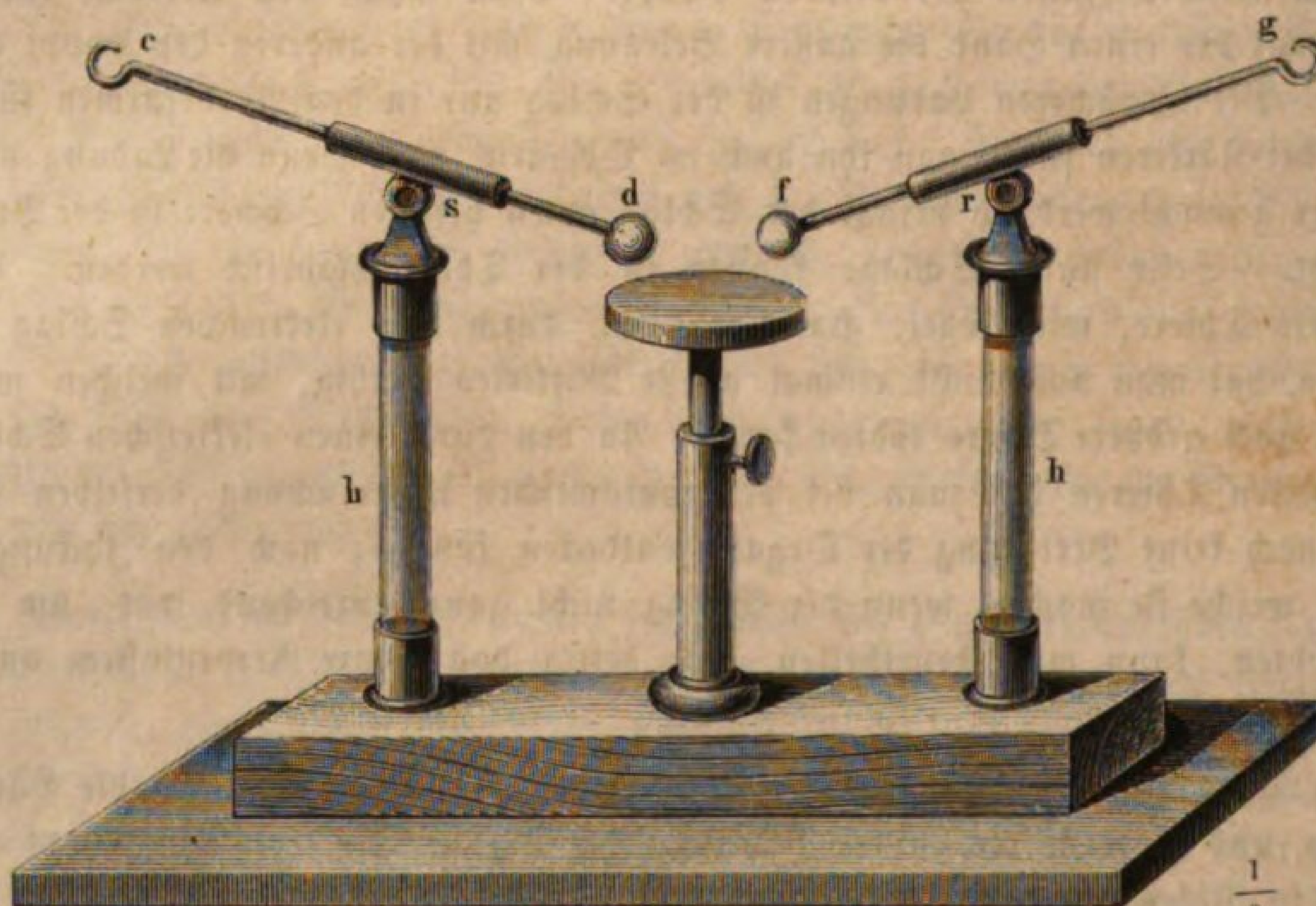


1/2

zündung des Pulvers ist nicht nur eine starke Ladung der Batterie, sondern eine **Verzögerung** der Entladung nöthig, welche dadurch bewirkt wird, daß man an einer beliebigen Stelle eine feuchte Schnur, einen durchnäßten Bindfaden, einschaltet. Wenn der ganze Schließungsbogen metallisch ist, wie gewöhnlich, so wird das Pulver bloß auseinander geworfen und nicht entzündet.

Zu sehr vielen Versuchen, die man mit dem Entladungsschlag der Leydner Flasche und der elektrischen Batterie anstellen kann, ist der **Henley'sche allgemeine Auslader**, welcher Fig. 131 dargestellt ist, ganz besonders be-

Fig. 131.



quem. Der eine Arm *cd* wird durch eine Kette mit der äußeren Belegung in leitende Verbindung gebracht, an dem andern Arme *gf* ist aber eine Kette befestigt, welche an die Kugel *a* des Ausladers Fig. 119 angehängt wird. Wenn man den Funken durchschlagen lassen will, so nähert man die Kugel *b* des Ausladers Fig. 119 rasch dem Knopfe der Flasche.

Wenn man die Kugeln *d* und *f* durch einen sehr dünnen Eisendraht verbindet, so wird dieser erwärmt, wenn ein schwacher Schlag hindurchgeht, eine stärkere Ladung macht ihn rothglühend und eine noch stärkere macht, daß er in einzelnen geschmolzenen Kügelchen auseinanderfährt, die weithin fortgeschleudert werden.

Ein schmaler Streifen Zinnfolie, welcher 3 bis 4 Zoll lang ist, wird durch den Entladungsschlag einer gewöhnlichen Batterie verflüchtigt, der Dampf oxydirt sich und bildet lange in der Luft schwebende, Spinnengeweben ähnliche Fäden.

Auch andere Metalle werden auf diese Weise erhitzt, glühend gemacht, geschmolzen und oxydirt; wenn man sie aber von gleicher Länge und von gleichem Durchmesser nimmt, so bringt dieselbe Ladung nicht denselben Effect hervor.

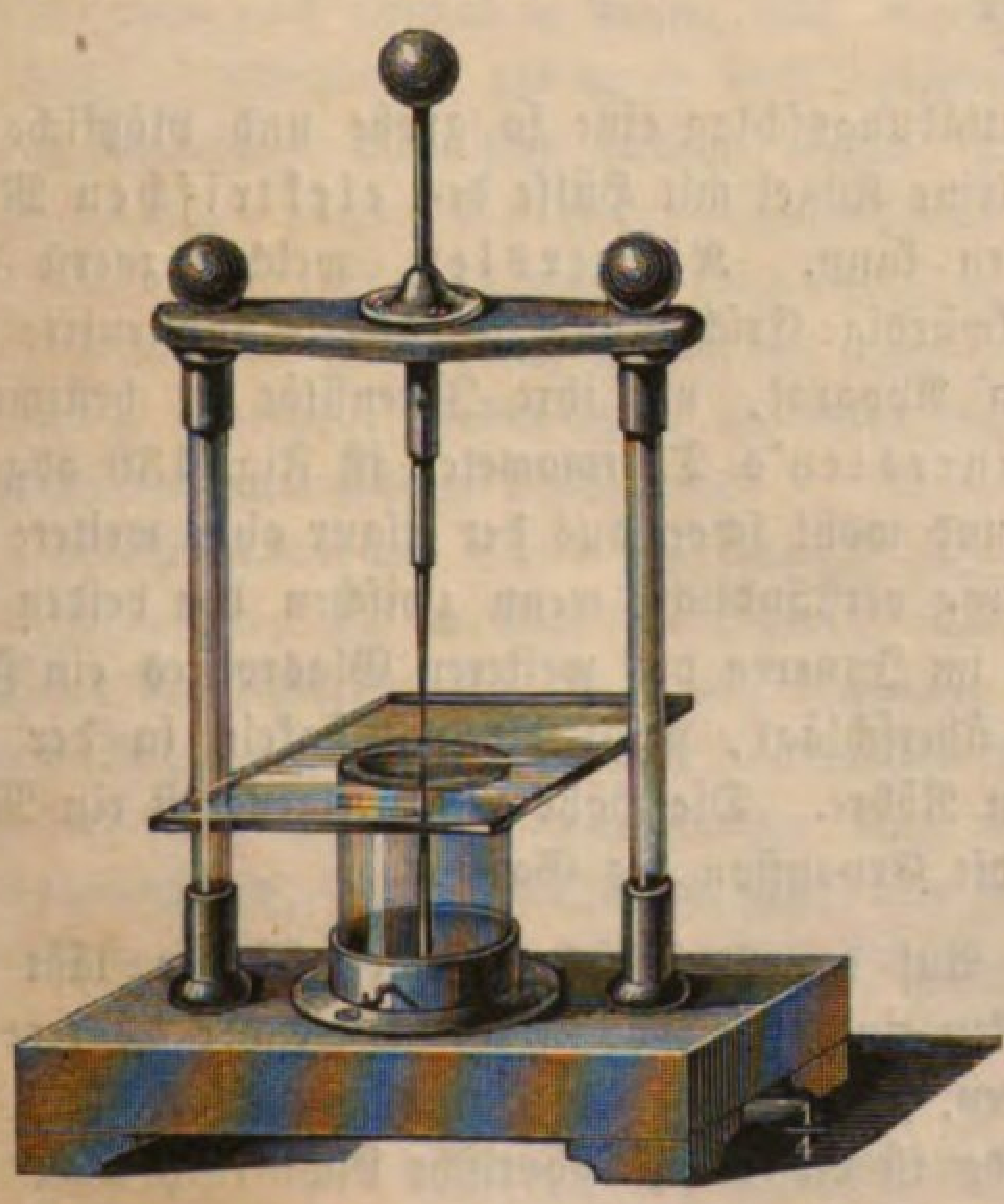
Die schlechteren Leiter, wie Platin und Eisen, werden, bei gleichen Dimensionen, weit stärker erwärmt, als Gold und Kupfer, welche bessere Leiter sind.

Mit Gold übersponnene Seidenfäden bieten eine eigenthümliche Erscheinung dar. Das Gold, welches sie bedeckt, wird verflüchtigt und oxydirt, ohne daß die Seide auch nur zerrissen worden wäre. Um diesen Versuch recht deutlich zu machen, hält man an den Faden ein Stück weißen Papiers, auf welchem man nach dem Schlage einen breiten Streifen von brauner Farbe sieht.

Schlechte Leiter, welche den Weg des Entladungsschlages unterbrechen, werden, wenn die Anhäufung der Elektricität bedeutend genug ist, zertrümmert oder durchlöchert. Eine Holzscheibe z. B., welche 3 bis 4 Zoll Durchmesser hat und 3 bis 5 Linien dick ist, wird von dem Entladungsschlage durchbohrt. Ebenso ein oder mehrere Kartenblätter, Pappendeckel u. s. w. Um den Versuch zu machen, bringt man den zu durchlöchernden Körper zwischen die beiden Kugeln des Henley'schen Entladers, und zwar so, daß diese Kugeln den eingeschobenen Körper berühren.

Um eine Glasplatte zu durchschlagen, muß man dafür sorgen, daß die Elektricität möglichst an einem Punkte concentrirt werde; die Glasplatte muß deshalb zwischen zwei einander genau gegenüberstehenden leitenden Spitzen befestigt sein. Man kann zu diesem Zwecke den Apparat, Fig. 132, anwenden.

Fig. 132.



Die Glasplatte wird, wenn sie in den Apparat eingesetzt ist, mit einer dünnen Oelschicht übergossen, weil sonst der Funken leicht um das Glas herumschlägt.

Beim Durchschlagen des Glases kommt es mehr auf hohe Spannung als auf große Menge der Elektricität an, der Versuch gelingt deshalb am besten mit einer Flasche von etwas dickem Glase.

Wenn man die Elektricität in einer Flüssigkeit überschlagen läßt, so erscheint ebenfalls ein Funken; auch das Knacken wird gehört, fast immer aber wird die Flüssigkeit mit großer Gewalt auseinander geschleudert. Wenn man eine Glasröhre mit Wasser füllt und sie an beiden Enden mit Korkstopfen verschließt, durch welche die Drähte hindurchgehen, zwischen welchen der Funken im Wasser überspringen soll, wie es Fig. 133 (a. f. S.) erläutert, so wird die Röhre durch den Entladungsschlag in der Regel zertrümmert.

Selbst offene mit Wasser gefüllte Glasgefäße werden oft zersprengt, wenn ein kräftiger Entladungsschlag zwischen zwei Metallkügelchen im Wasser übergeht. Eine dazu taugliche Vorrichtung ist Fig. 134 dargestellt.

Fig. 133.

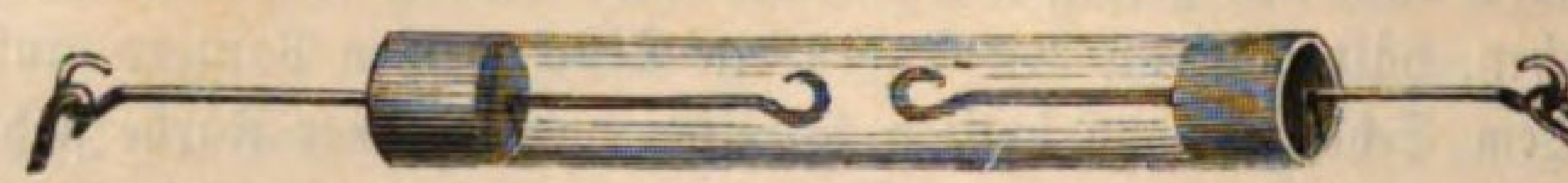
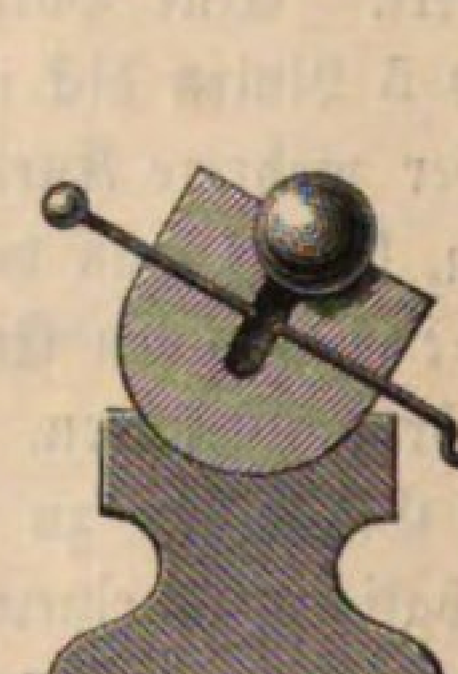


Fig. 134.



Fig. 135.



In Gasen bringt der Entladungsschlag eine so große und plötzliche Expansion hervor, daß sie eine kleine Kugel mit Hülfe des elektrischen Mörsers, Fig. 135, fortschleudern kann. Kinnersley, welcher zuerst diese merkwürdige Erscheinung beobachtete, construirte auch einen Apparat, um ihre Intensität zu bestimmen. Kinnersley's Thermometer ist Fig. 136 abgebildet und wohl schon aus der Figur ohne weitere Erklärung verständlich; wenn zwischen den beiden Kugeln im Inneren des weiteren Glasrohres ein Funken überschlägt, steigt die Flüssigkeit in der seitlichen Röhre. Die Höhe des Steigens ist ein Maaß für die Expansion des Gases.

Fig. 136.

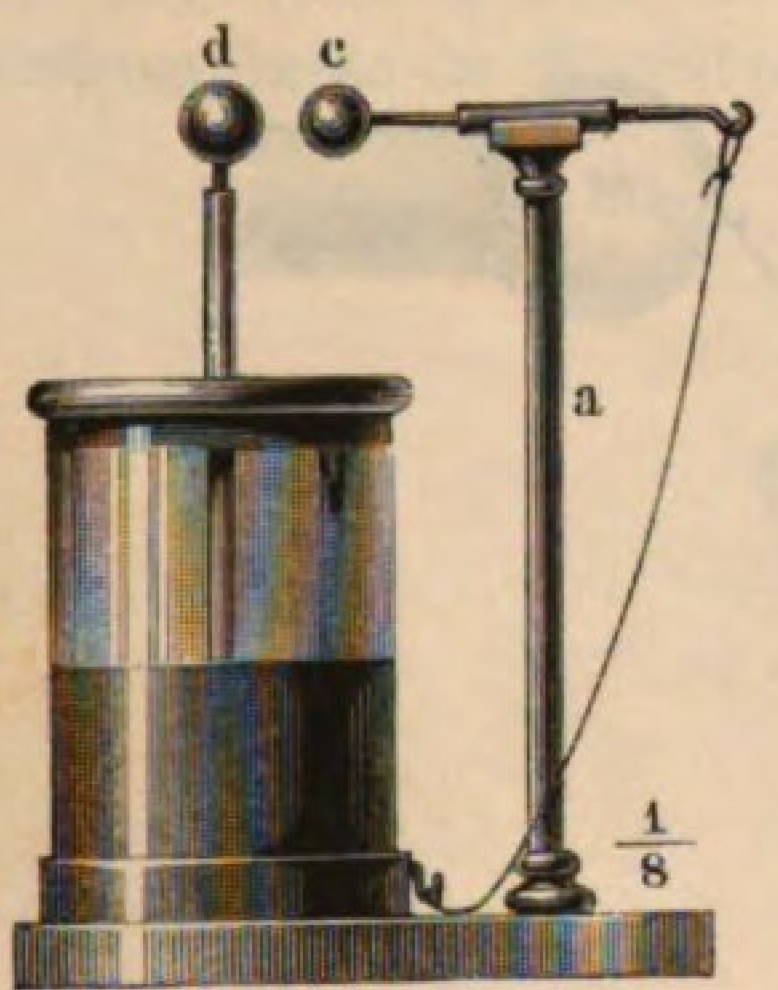


Auf der Oberfläche einiger Körper läßt der Funken einen Lichtschweif zurück, welcher mehrere Secunden, ja oft über eine Minute lang leuchtet. Auf Kreide ist dieses phosphorische Licht roth oder violet, auf Zucker und krystallisirtem Kalkspath grünlich.

50 **Die Maaßflasche.** Eine für quantitative Untersuchungen vortreffliche Vorrichtung hat Lane angegeben. Auf demselben Fuße, Fig. 137, auf welchem die Leydner Flasche steht, ist ein verticaler Stab *a*

befestigt, durch dessen oberes Ende ein horizontales, an einem Ende mit einer Kugel *c* endigendes Messingstäbchen hindurchgeht. Man kann dieses Stäbchen beliebig vor- und rückwärts schieben und in jeder beliebigen Entfernung von der Kugel *d* der Flasche feststellen. Das Stäbchen ist mit einer Theilung versehen, welche es möglich macht, die Entfernung der beiden Kugeln genau zu messen. Das Stäbchen wird durch einen Messingdraht mit der äußeren Belegung der Flasche metallisch verbunden.

Fig. 137.



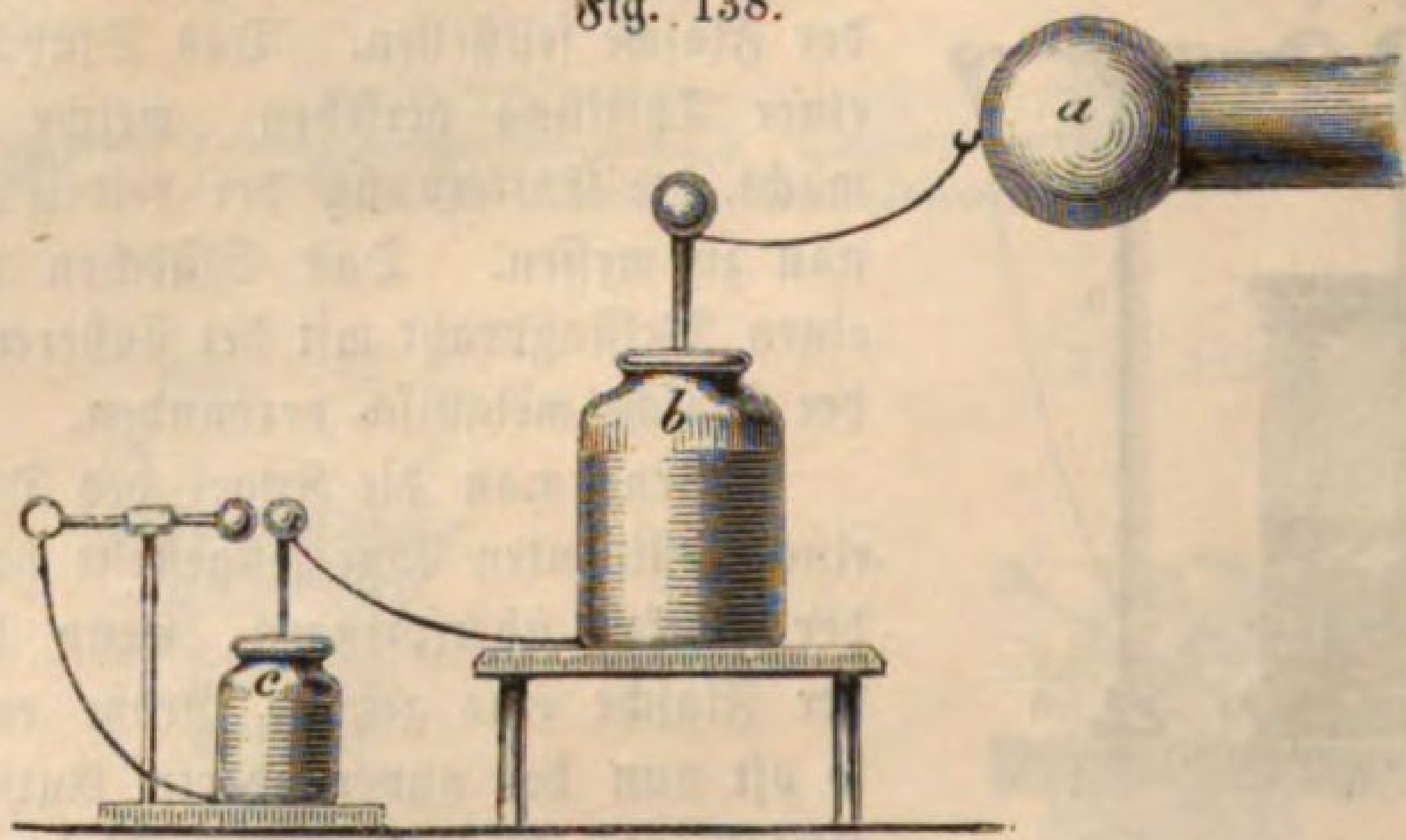
Wenn man die Kugel des Drahtes *c* in einer bestimmten Lage festgestellt hat, so wird der Funken überspringen, wenn die Ladung der Flasche eine gewisse Größe erreicht hat; so oft nun bei unveränderter Entfernung der Kugeln eine Entladung der Flasche stattfindet, kann man überzeugt sein, daß sie bis zu derselben Gränze geladen war.

Die Entfernung, auf welche der Entladungsfunken überspringt, die Schlagweite, ist ein Maaß für die Ladung der Flasche. Lane fand, daß bei gleichmäßigem Drehen der Elektrisirmaschine, welche die Flasche ladet, die Entladungen noch einmal so häufig sind, wenn die Kugel *c* nur $\frac{1}{2}'''$ weit von der Kugel *d* entfernt ist, als wenn diese Entfernung 1''' beträgt. Harris und Rieß bestätigten dies und fanden ferner, daß die Schlagweite einer Flasche oder einer Batterie überhaupt der Dichtigkeit der angehäuften Elektricität proportional sei, daß also für eine Batterie von 2, 3, 4 u. s. w. ganz gleichen Flaschen eine 2-, 3-, 4mal so große Elektricitätsmenge zugeführt werden muß, als einer einzigen dieser Flaschen, wenn die Schlagweite unverändert bleiben soll.

Rieß wendet die Lane'sche Flasche an, um die Quantität der Elektricität zu messen, mit welcher eine Batterie geladen wird. Zu diesem Zwecke stellte er die Batterie auf ein durch Glasfüße isolirtes Gestell und setzte die äußere Belegung der Batterie mit der inneren der Lane'schen Flasche, die äußere Belegung der Lane'schen Flasche aber mit einer großen nicht isolirten Metalloberfläche, den Gasleitungsröhren des Hauses, in leitende Verbindung. Dieses Arrangement ist durch Fig. 138 (a. f. S.) anschaulich gemacht, wo *a* den Conductor der Maschine, *b* die zu ladende Flasche oder Batterie, *c* die Maaßflasche darstellt. Wird nun der Batterie von dem Conductor der Elektrisirmaschine Elektricität zugeführt, so wird die abgestoßene positive Elektricität von der äußeren Belegung der Batterie zur inneren Belegung der Lane'schen Flasche wandern und dadurch eine Ladung derselben bewirkt werden; hat aber diese Ladung eine gewisse Gränze erreicht, so folgt eine Entladung der Lane'schen Flasche. So oft nun bei fortgesetztem Drehen der Maschine eine Entladung der Lane'schen Flasche erfolgt, so oft ist von der äußeren Belegung der Batterie dieselbe Menge positiver Elektricität zu der Maaßflasche übergegangen,

so oft ist also auch die Ladung der Batterie um eine gleiche Elektricitätsmenge vermehrt worden, die Ladung der Batterie ist also der Anzahl der Selbstentladungen der Maaßflasche proportional.

Fig. 138.



Nachdem sich Rieß auf diese Weise ein genaues Maaß für die Ladung der Batterie verschafft hatte, konnte er auch über die Wirkungen des Entladungsschlages genauere Versuche anstellen.

51 **Gesetze der Wärmeentwickelung durch den Entladungsschlag der Batterie.** Um die Gesetze der Erwärmung dünner Drähte durch den Entladungsschlag zu ermitteln, wandte Rieß, wie schon früher Harris, ein Luftthermometer an, durch dessen Kugel ein dünner Platindraht hindurchging, welcher in den Weg des Entladungsschlages eingeschaltet wurde.

Fig. 139 stellt ein Rieß'sches elektrisches Luftthermometer in $^1/_4$ der natürlichen Größe dar. Die Glaskugel, welche ungefähr 3 Zoll im Durchmesser hat, ist an drei Stellen durchbohrt. Die Oeffnungen bei *a* und *b* stehen einander diametral gegenüber und sind mit durchbohrten Metallfassungen versehen, zwischen welchen der Platindraht ausgespannt wird; die dritte Oeffnung *c* ist ebenfalls mit einer Metallfassung versehen, deren Oeffnung durch einen Messingstöpsel verschlossen ist. Durch Oeffnen dieses Stöpsels unmittelbar vor dem Versuch kann man die Luft im Inneren der Kugel mit der äußeren ins Gleichgewicht setzen, worauf dann der Stöpsel wieder eingesetzt wird.

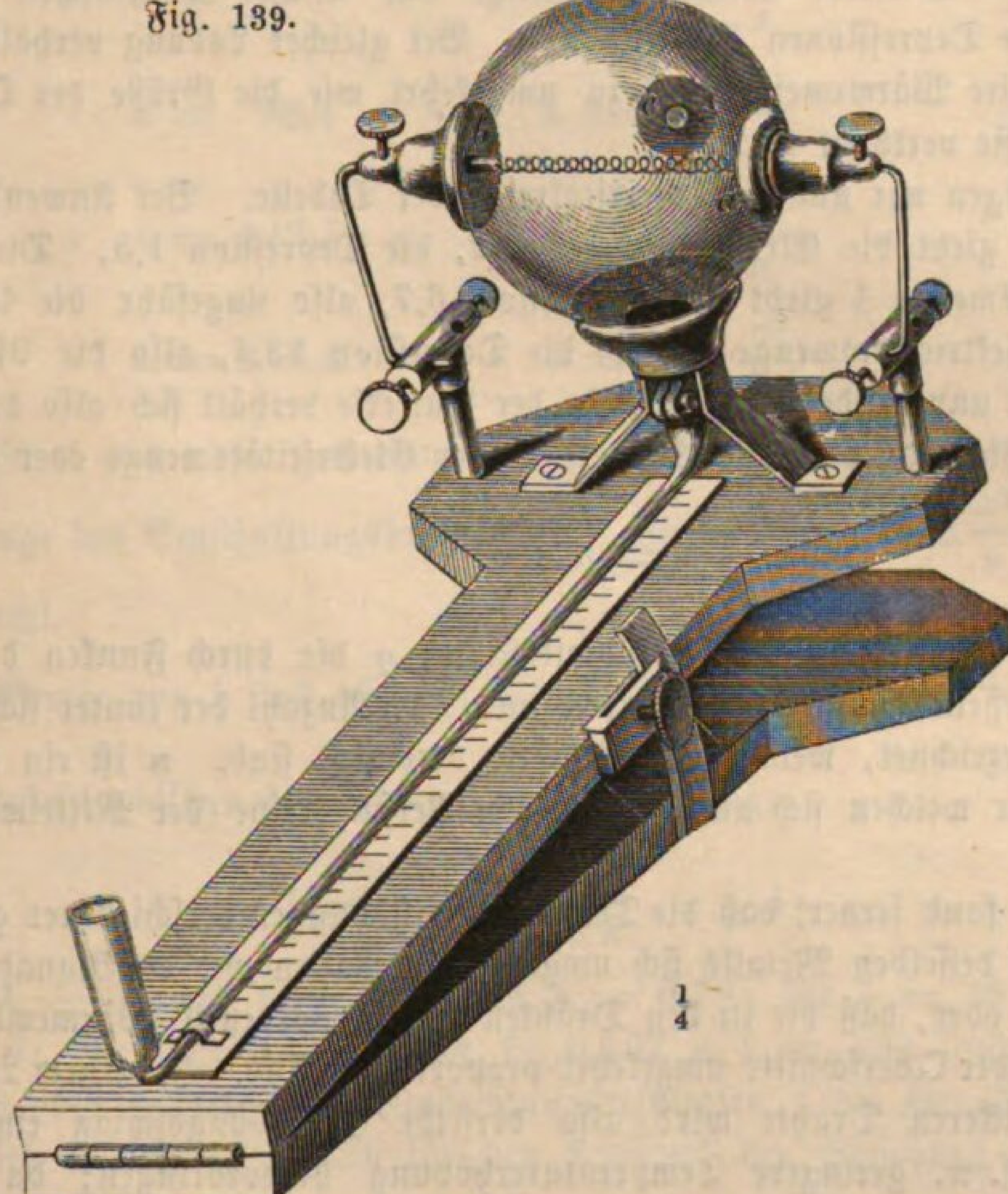
Der in der Kugel befindliche spiralförmig gewundene Platindraht hatte bei den meisten Rieß'schen Versuchen eine Länge von 60''' und einen Durchmesser von nahe 0,04 Linien.

An die Kugel ist eine Glasröhre von ungefähr $^1/_2$ Linie Weite im Lichten angeschmolzen, welche auf einem mit einer Theilung versehenen Brette befestigt ist und mit einem trichterförmigen Gefäße endigt. Man kann die Röhre nach Belieben mehr oder weniger stark gegen die Horizontale neigen.

Gießt man in das trichterförmige Gefäßchen eine gefärbte Flüssigkeit, etwa gefärbtes Wasser, so wird es bis zu einer gewissen Stelle in der Röhre aufsteigen. Wenn nun, nachdem alles im Gleichgewicht ist, die Oeffnung bei *c* wieder geschlossen wird, so ist die Luft in der Kugel vollständig abgesperrt.

Geht ein Entladungsschlag durch den Platindraht, so wird er erwärmt, er theilt diese Wärme der Luft in der Kugel mit, sie wird ausgedehnt und treibt die Flüssigkeit in der Röhre um so weiter herab, je stärker die Erwärmung war. Diese Depression ist also ein Maaß für die Erwärmung, welche durch den Entladungsschlag im Platindrahte bewirkt wird.

Fig. 139.



$\frac{1}{4}$

Der Apparat ist so eingerichtet, daß man ihn bequem in den Schließungsbogen der Batterie einschalten kann. In dieser Beziehung bedarf jedoch die Figur keiner weiteren Erläuterung.

Eine Versuchsreihe mit diesem Apparate gab unter anderen die in folgender Tabelle zusammengestellten Resultate:

s	2	4	6
q	*h*	*h*	*h*
2	1,5	—	—
4	6,7	3,2	2,6
6	13,4	7,3	5,5
8		14,1	9,3

In der obersten Horizontalreihe steht die Anzahl s der angewandten Flaschen, in der ersten Verticalreihe die angewandten Elektricitätsmengen q, gemessen durch die Zahl der Entladungsfunken der Maaßflasche. Die entsprechenden Depressionen h des Thermometers sind in Linien ausgedrückt. Als z. B. die Elektricitätsmenge 4 auf 2 Flaschen vertheilt war, erhielt man die Depression 6,7 Linien. Dieselbe Elektricitätsmenge auf 4 und 6 Flaschen vertheilt, gab nur die Depressionen 3,2 und 2,6. Bei gleicher Ladung verhält sich also die entwickelte Wärmemenge nahezu umgekehrt wie die Größe der Oberfläche, auf welche sie vertheilt wird.

Verfolgen wir nun eine Verticalreihe der Tabelle. Bei Anwendung von 2 Flaschen giebt die Elektricitätsmenge 2, die Depression 1,5. Die doppelte Elektricitätsmenge 4 giebt die Depression 6,7, also ungefähr die 4fache, die dreifache Elektricitätsmenge 6 giebt die Depression 13,4, also die 9fache Wirkung. Bei unveränderter Oberfläche der Batterie verhält sich also die Erwärmung im Platindraht wie das Quadrat der Elektricitätsmenge oder es ist

$$h = n \frac{q^2}{s},$$

wenn h die Depression der Flüssigkeitssäule, q die durch Funken der Maaßflasche gemessene Ladung der Batterie und s die Anzahl der (unter sich gleichen) Flaschen bezeichnet, welche zur Batterie vereinigt sind. n ist ein constanter Factor, für welchen sich aus der obigen Versuchsreihe der Mittelwerth 0,88 ergiebt.

Rieß fand ferner, daß die Temperaturerhöhungen verschiedener gleich langer Drähte desselben Metalls sich umgekehrt verhalten wie die Biquadrate ihrer Halbmesser oder, daß die in den Drähten frei gewordenen Wärmemengen den Quadraten der Querschnitte umgekehrt proportional sind. In einem 2mal, 3mal u. s. w. dickeren Drahte wird also derselbe Entladungsschlag eine 16mal, 81mal u. s. w. geringere Temperaturerhöhung hervorbringen; da aber die Massen dieser Drähte 4mal, 9mal größer sind, so ist klar, daß die in denselben frei werdende Wärmemenge 4mal, 9mal u. s. w. geringer ist als in einem Drahte von einfacher Dicke.

Wenn der Draht in der Thermometerkugel unverändert bleibt, so wird bei Entladung derselben Elektricitätsmenge die Erwärmung des Drahtes in der Kugel um so geringer, je länger man den Schließungsbogen macht und je dünnere Drähte man in demselben einschaltet.

Um den Einfluß der Verlängerung des Schließungsbogens zu untersuchen, schaltete Rieß mittelst des Henley'schen Ausladers der Reihe nach verschieden lange Stücke desselben Kupferdrahtes in den Schließungsbogen ein, während im Thermometer stets derselbe Platindraht blieb. Mit jeder Einschaltung wurde nun eine Versuchsreihe in der Art gemacht, wie die auf voriger Seite angeführte. Wir wollen die Länge des eingeschalteten Kupferdrahtes (welcher 0,29''' dick war) mit λ bezeichnen.

$$\text{Für } \lambda = 0 \text{ ergab sich } h = 0{,}78 \frac{q^2}{s}$$

$$\text{» } \lambda = 9{,}6' \text{ » » } h = 0{,}69 \frac{q^2}{s}$$

$$\text{» } \lambda = 49{,}0 \text{ » » } h = 0{,}48 \frac{q^2}{s}$$

$$\text{» } \lambda = 98{,}4 \text{ » » } h = 0{,}34 \frac{q^2}{s}$$

$$\text{» } \lambda = 147{,}7 \text{ » » } h = 0{,}27 \frac{q^2}{s}$$

$$\text{» } \lambda = 246{,}4 \text{ » » } h = 0{,}21 \frac{q^2}{s}.$$

Wir sehen aus dieser Zusammenstellung, daß die Erwärmung mit zunehmender Länge des Einschaltungsdrahtes, für gleiche Werthe von $\frac{q^2}{s}$ fortwährend abnimmt.

Die Werthe von h sind offenbar den Factoren von $\frac{q^2}{s}$ proportional. Für $\frac{q^2}{s} = 1$ besteht zwischen h und λ folgende Beziehung:

$$h = \frac{0{,}78}{1 + 0{,}013\,\lambda} \quad \ldots 1)$$

Für $\lambda = 0$ giebt diese Gleichung $h = 0{,}78$; für $\lambda = 49$ giebt sie $h = 0{,}476$; für $\lambda = 147{,}7$ giebt sie 0,267 u. s. w., also lauter Werthe, die mit den oben mitgetheilten Beobachtungsresultaten sehr gut stimmen, so daß wir diese Gleichung wirklich für den Ausdruck der Beziehung zwischen h und λ nehmen können.

Die Gleichung 1) auf allgemeine Form gebracht, heißt

$$h = \frac{a}{1 + b\,\lambda},$$

woran Rieß folgende Betrachtung anschließt.

Durch Verlängerung des Schließungsbogens wird die Erwärmung vermindert. Schaltet man aber nun statt eines Metalldrahtes ein Stück feuchten Holzes, oder eine mit Wasser gefüllte Glasröhre als Zwischenleitung ein, so sind die stärksten Ladungen der Batterie nicht mehr im Stande, auch nur eine Senkung von 0,1‴ zu bewirken. Hier aber ist die Entladung der Batterie nicht mehr momentan, wie bei der Einschaltung des längsten Kupferdrahtes, sie erfordert eine wahrnehmbare Zeit. Daraus läßt sich schließen, daß wir auch einen Unterschied in der Entladungszeit beobachten würden, je nachdem ein kurzer oder ein langer Kupferdraht eingeschaltet ist, wenn wir mit schärferen Sinnen begabt wären. Die Erwärmung des Platindrahtes im Thermometer

scheint mit der Zeit, welche die Entladung dauert, im einfachen umgekehrten Verhältniß zu stehen. Ist eine Erwärmung a beobachtet worden, indem eine gewisse Elektricitätsmenge von gewisser Dichtigkeit in der Zeit 1 entladen wurde, so wird die Entladungszeit um $b\lambda$ vergrößert, wenn ein Draht von der Länge λ eingeschaltet wird, und die Erwärmung ist nun

$$h = \frac{a}{1 + b\lambda},$$

oder die Erwärmung eines Drahtes durch die Entladung der elektrischen Batterie ist der Dauer der Entladung umgekehrt proportional; die Dauer der Entladung wird durch Verlängerung des Schließungsdrahtes um eine Zeit verzögert, welche der zugesetzten Drahtlänge proportional ist.

Wenn in den Schließungsbogen der Reihe nach mittelst eines Henley'schen Ausladers gleich lange und gleich dicke Drähte verschiedener Metalle eingeschaltet werden, so wird durch Entladung gleicher Ladungen der Batterie der Draht in der Thermometerkugel sehr ungleiche Erwärmungen erfahren, die eingeschalteten Drahtstücke verzögern also die Entladung nicht gleich stark. Hat man einmal einen Kupferdraht, dann einen Platindraht von gleicher Länge und Dicke eingeschaltet, so wird für den Kupferdraht eine stärkere Erwärmung in der Thermometerkugel wahrgenommen werden; wenn man aber bei gleicher Dicke den Platindraht im Auslader 6,44mal kürzer macht als den Kupferdraht, so beobachtet man unter sonst gleichen Umständen für beide eine gleiche Temperaturerhöhung des Platindrahtes in der Thermometerkugel; ein Platindraht verzögert also die elektrische Entladung gerade eben so stark, wie ein gleich dicker, 6,44mal längerer Kupferdraht, das Platin hat also eine 6,44mal stärkere Verzögerungskraft als das Kupfer, oder auch die Leitungsfähigkeit des Platins ist 6,44mal geringer als die des Kupfers.

Rieß hat den specifischen Leitungswiderstand verschiedener Metalle durch zahlreiche Versuche ermittelt, welche sich auf das eben angedeutete Princip stützen. Wir werden weiter unten ausführlicher davon reden.

Als im Thermometer sich ein Platindraht von 59''' Länge und 0,041''' Radius, im Auslader aber ein Kupferdraht von 142''' Länge und 0,042''' Halbmesser befand, gab eine den obigen ähnliche Beobachtungsreihe

$$h = 1{,}51 \frac{q^2}{s}.$$

Wurden nun die Drähte vertauscht, so daß der Kupferdraht im Thermometer, der Platindraht aber im Auslader war, so kam

$$h = 0{,}46 \frac{q^2}{s}.$$

Derselbe Entladungsschlag bringt also in beiden Drähten sehr ungleiche Erwärmungen hervor. Aus diesen und ähnlichen mit anderen Metallen angestellten Versuchen gelangte Rieß, alle hier influirenden Umstände in Rechnung

ziehend, zu dem Resultat, daß die durch den elektrischen Entladungsschlag caeteris paribus in den Drähten frei werdende Wärmemenge der verzögernden Kraft dieser Metalle proportional ist.

Es sind schon oben, Seite 128, im Allgemeinen die Wirkungen angeführt worden, welche ein starker Entladungsschlag hervorbringt, wenn er durch einen dünnen Metalldraht hindurchgeführt wird. Auch diese Effecte hat Rieß einer genaueren Prüfung unterworfen und hat gezeigt, daß die Schmelzung nicht eine directe Wirkung der Erwärmung durch den Entladungsschlag sein kann. Von seinen Beobachtungen der Temperaturerhöhung etwas dickerer Drähte für schwächere Ladungen ausgehend, konnte Rieß die Temperaturerhöhung eines dünnen Drahtes bei stärkerer Ladung berechnen, es ergab sich durch diese Rechnung 211° für die Temperaturerhöhung eines Platindrahtes bei einem Entladungsschlage, welcher den Draht schmolz. Eine solche Temperatur ist aber nicht zum Glühen, viel weniger zum Schmelzen des Platins hinreichend; das Metall schmilzt schon, ehe es durch Steigerung seiner Temperatur schmelzen würde, in der Schmelzung erkennt deshalb Rieß eine elektrische Wirkung, die von der Erwärmung durch Elektricität getrennt ist.

Bei fortgesetzter Steigerung der Ladung treten noch vor dem Eintreten des Glühens eine Reihe von Erscheinungen am Drahte auf, welche auf ein gewaltsames Eindringen, auf eine mechanische Wirkung der Elektricität hindeuten. Der Draht wird sichtbar erschüttert, es treten kleine Funken an seinen Enden auf, es werden von seiner Oberfläche Theilchen losgerissen, die sich in Gestalt eines dichten Dampfes von ihm erheben, der Draht erhält scharfe Einbiegungen, die mit der Stärke der Ladung an Zahl und Stärke zunehmen, endlich bei immer mehr gesteigerter Ladung wird er rothglühend, weißglühend, er wird zerrissen und zersplittert. Bei Platindrähten zeigen die Stücke oft noch gar keine Schmelzung, die erst bei noch stärkeren Ladungen auftritt; die Zerreißung geht also der Schmelzung voran. Bei leicht oxydirbaren Metallen steigert sich die Temperatur noch durch Aufnahme von Sauerstoff, und diese erhöhte Temperatur erleichtert dann auch die Schmelzung. Ueberall, wo die elektrische Schmelzung eintritt, ist eine mechanische Trennung der geschmolzenen Masse sichtbar, die Schmelzung kann daher nur als Wirkung der Hitze auf sehr fein zertheiltes Metall betrachtet werden. Die Elektricität schmilzt die Metalle durch gleichzeitige Zersplitterung und Erhitzung.

Der Condensator. Ein jeder Apparat, in welchem man durch die 52
gegenseitige Anziehung der ungleichnamigen Elektricitäten eine größere Anhäufung von Elektricität zu Stande bringen kann, als es ohne die Wirkung der Influenz möglich wäre, ist ein Verdichter, also ein Condensator der Elektricität. Dieser Definition zufolge ist also die Franklin'sche Tafel sowohl wie die Leydner Flasche und der Apparat, Fig. 120 S. 122, ein elektrischer Condensator. Gewöhnlich wird diese Bezeichnung aber nur für solche Apparate gebraucht, bei welchen die isolirende Schicht, welche die beiden Belegungen trennt, ungleich dünner ist als das Glas der Franklin'schen Tafel

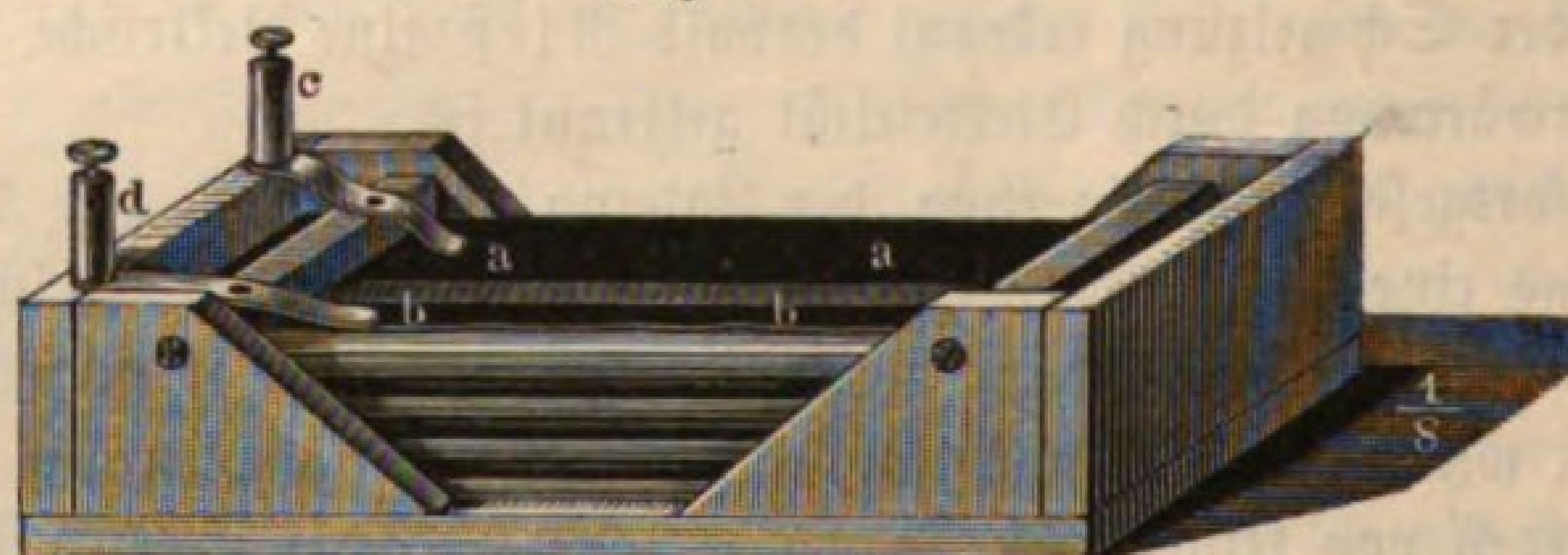
und der Leydner Flasche, für Apparate also von größerer condensirender Kraft, welche aber nur in solchen Fällen in Anwendung kommen können, wo man mit Elektricität von sehr geringer Spannung zu thun hat.

Die Condensatoren im engeren Sinne des Wortes zerfallen aber wieder in zwei wesentlich verschiedene Abtheilungen, nämlich 1) in solche, bei welchen die beiden Belegungen ein für allemal fest sind und also in unveränderlicher gegenseitiger Lage bleiben, und 2) solche, bei welchen die beiden Belegungen von einander entfernt werden können.

Die Apparate der ersten Klasse sind im Wesentlichen ganz so construirt, wie die Franklin'sche Tafel, nur ist die Glasplatte durch Wachstaffent oder durch ein dünnes Glimmerblatt ersetzt. Wir werden weiter unten mehrere Anwendungen derartiger Condensatoren kennen lernen.

Fig. 140 stellt einen Condensator von Wachstaffent dar, wie ihn Stöhrer an dem später zu beschreibenden Funkeninductor angebracht

Fig. 140.



hat. Ein ungefähr $2^1/_2$ Meter langer, 28 Centimeter breiter Streifen von gut gefirnißtem Wachstaffent ist auf beiden Seiten in entsprechender Weise mit Stanniol belegt, welcher mit Schellackfirniß aufgeklebt wird. Dieser Streifen ist nun vielfach zusammengelegt und zwischen je zwei Lagen ein dünnes Brettchen von trockenem Tannenholz eingelegt. Das Ganze befindet sich dann in einem Kasten, welcher als Schieblade in das Gestell des bezeichneten Apparates eingeschoben wird. *a* ist das Ende der einen, *b* das über den Rand des Wachstaffents etwas übergreifende Ende der anderen Belegung; zwischen *a* und *b* bleibt natürlich ein hinlänglich breiter Streifen Wachstaffent unbelegt. Ein federnder Kupferstreifen führt von dem Messingsäulchen *c* zur einen, eine zweite Kupferfeder führt vom Messingsäulchen *d* zur anderen Belegung.

Dieser Condensator ist nur für Elektricität von äußerst geringer Spannung anwendbar, indem er schon nicht mehr ausreicht, um die von einer etwas starken Zamboni'schen Säule herrührende Ladung zu halten. Für solche stärkere Ladungen muß die Isolation vollständiger sein, man muß Condensatoren anwenden, bei welchen die isolirende Schicht durch ein Glimmerblatt gebildet wird. Um eine größere Oberfläche zu erhalten, kann man dann mehrere solcher belegten Glimmerplatten zu einer Batterie verbinden.

Die zweite Klasse von Condensatoren ist ganz nach Art des Apparates Fig. 120 eingerichtet, und dient dazu: Elektricität solcher Elektricitätsquellen sichtbar zu machen, deren Spannung nicht genügend ist, um direct auf das Elektro-

meter zu wirken. Indem wir die unvollkommneren Instrumente der Art übergehen, soll hier zunächst von dem Condensator die Rede sein, wie er in Verbindung mit dem Goldblattelektrometer angewendet wird. — Auf das Goldblattelektrometer wird eine Metallplatte aufgeschraubt, wie man Fig. 141 sieht. Diese Platte muß oben möglichst eben abgeschliffen und mit einer ganz dünnen Schicht von Schellackfirniß überzogen sein. Eine zweite auf dieselbe Weise präparirte Platte, welche mit einem isolirenden Stiele versehen ist, wird nun mit ihrer gefirnißten Fläche auf die andere gesetzt, so daß die beiden Metallplatten nur noch durch die dünne Firnißschicht getrennt sind, sonst aber so vollkommen wie möglich auf einander passen.

Fig. 141.



Man übersieht leicht, daß bei dieser Anordnung die Glasplatte des Apparates, Fig. 120, nur durch eine dünne Schellackschicht ersetzt ist. Weil aber die isolirende Schicht so außerordentlich dünn ist, die beiden Platten also einander sehr nahe stehen, so ist hier die gegenseitige Bindung eine sehr vollständige. Bringt man die untere Condensatorplatte mit einer schwachen Elektricitätsquelle, etwa mit dem einen Pol einer kleinen Zamboni'schen Säule (deren Beschreibung später folgt) in Berührung, während man die obere ableitend mit dem Finger berührt, so wird der Condensator ganz auf dieselbe Weise geladen, wie eine Leydner Flasche, deren innere Belegung mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in Verbindung steht, während die äußere nicht isolirt ist. Der ganze Unterschied liegt nur darin, daß man das eine mal mit einer Elektricitätsquelle von großer, das andere mal mit einer solchen von sehr geringer elektrischer Spannung zu thun hat.

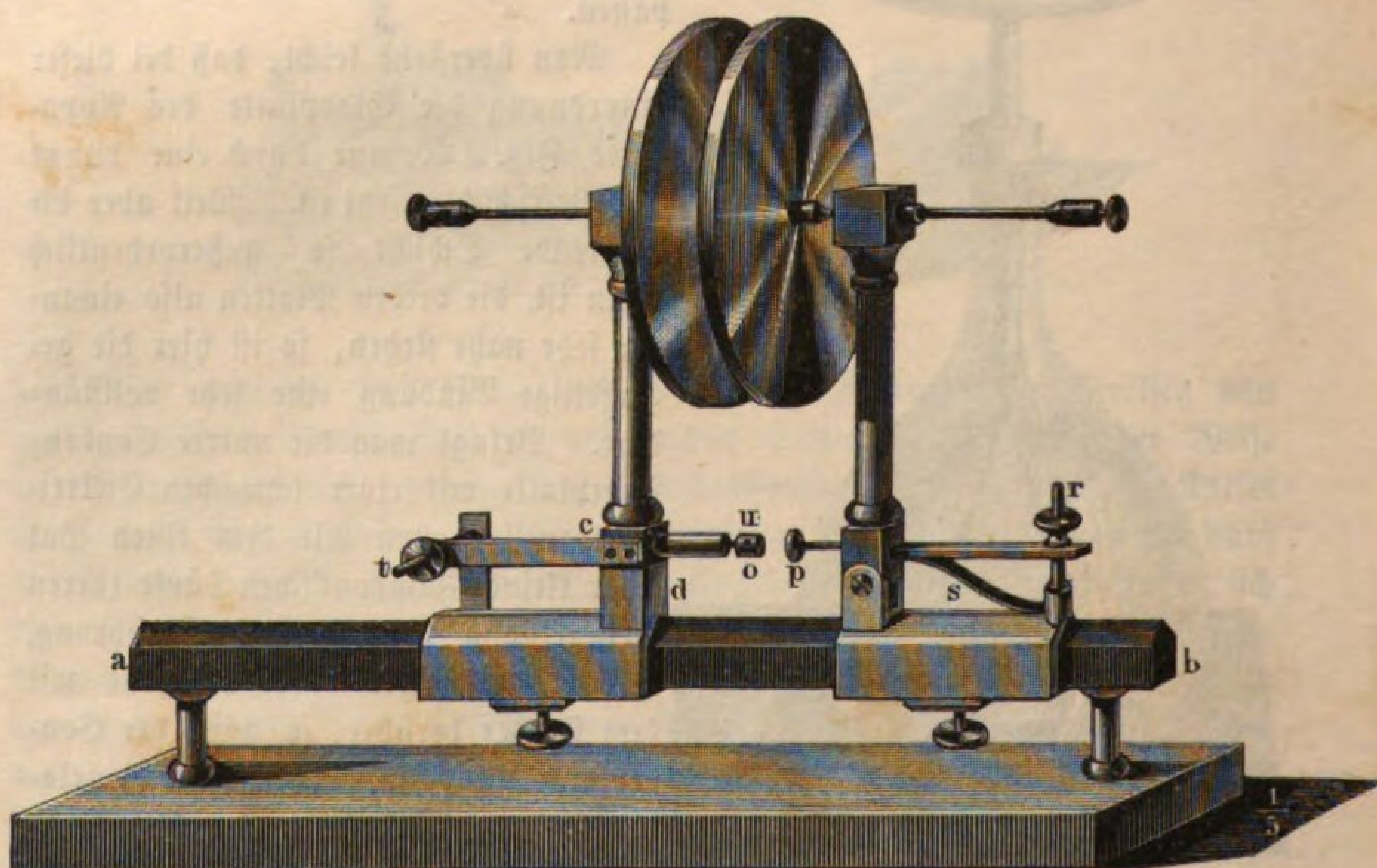
Ist auf diese Weise der Condensator geladen worden, o wird der Finger von der oberen, die Elektricitätsquelle von der unteren Platte entfernt und dann die obere Platte abgehoben (und zwar möglichst vertical, damit die Berührung der beiden Platten in allen Punkten in demselben Momente aufgehoben wird); dadurch wird die bis dahin gebundene Elektricität der unteren Platte frei, ein Theil derselben verbreitet sich über die Goldblättchen und be-

wirkt eine Divergenz derselben, welche die Elektricitätsquelle direct entweder gar nicht oder doch nur in ungleich geringerem Maaße hervorzubringen im Stande war.

Da man die Condensatorplatten in der Combination mit dem Goldblattelektrometer nicht immer auf absolut gleiche Weise auf einander setzen kann, da man ebensowenig eines vollkommen gleichmäßigen Abhebens sicher ist, so haben die mit einer solchen Vorrichtung erhaltenen Resultate nicht die zu quantitativen Untersuchungen nöthige Genauigkeit. Um diese zu erlangen, gab Kohlrausch dem Condensator eine andere Einrichtung und brachte ihn statt mit einem Goldblattelektrometer mit dem für Messungen weit geeigneteren Dellmann'schen Elektrometer in Verbindung (Pogg. Annal. Bd. LXXV.).

Nachdem Kohlrausch die Form des Condensators mehrmals abgeändert und verbessert hatte, blieb er bei einer Einrichtung desselben stehen, welche mit einigen constructiven Abänderungen in Fig. 142 dargestellt wird.

Fig. 142.



Auf einem durch zwei Messingstäbchen getragenen Stahlprisma *ab* sind, ähnlich wie bei einem Stangenzirkel, zwei genau passende Messinghülsen verschiebbar, von denen jede ein Säulchen von Holz trägt. In dem Kopf eines jeden dieser Säulchen ist ein Messingdraht mit Schellack eingekittet, welcher auf der einen Seite mit einer Klemmschraube, auf der anderen Seite aber mit einer Verstärkung endigt, in welche die Condensatorplatte eingeschraubt werden kann, welche ungefähr 6 Zoll Durchmesser hat.

Da es besonders wichtig ist, daß die Condensatorplatten einander vollkommen parallel stehen, so ist die Vorrichtung getroffen, daß die eine der

Platten (in unserer Figur die auf der rechten Seite) ein wenig mehr nach vorn oder nach hinten geneigt, die andere aber um eine verticale Axe etwas nach rechts oder links gedreht werden kann. Wie das erstere mit Hülfe der Schraube *r* und der Feder *s* geschieht, ist wohl aus der Figur ohne weitere Erläuterung verständlich. — Das Holzsäulchen links ist auf einem vierseitigen Metallstück *c* befestigt, welches mittelst einer gut geschnittenen Schraube in dem Messingstück *d* steckt. An *c* ist ein messingener Hebel angeschraubt, welchen man nur etwas vor- oder zurückzuschieben braucht, um die Säule nach der einen oder anderen Richtung um ihre verticale Axe zu drehen. Die Bewegung des Hebels geschieht mittelst der Schraube *t* und einer Spiralfeder, welche denselben nach vorn drückt.

Sind die Platten genau parallel gestellt, so ist es ferner von Wichtigkeit, daß man sie nicht über eine gewisse Gränze nähern, also ihren Abstand reguliren kann. Es wird dies dadurch bewerkstelligt, daß bei Annäherung der Platten der Schraubenkopf *o* an das Plättchen *p* anstößt. Durch Drehen des Schraubenkopfes *o* kann man den Abstand der Condensatorplatten reguliren. Die etwas über 1 Linie dicken Platten dieses Condensators sind nicht gefirnißt, so daß die isolirende Schicht zwischen denselben nur durch Luft gebildet wird. Beim Gebrauch wird einer der beiden Schieber vollkommen festgestellt, so daß die Annäherung und Entfernung der Condensatorplatten nur durch Verschiebung des anderen bewerkstelligt wird.

Die Verstärkungszahl eines Condensators wird erhalten, wenn man die Wirkungen vergleicht, welche ein und dieselbe oder doch vergleichbare Elektricitätsquellen an einem Elektrometer einmal mit und dann ohne Anwendung des Condensators hervorbringt.

So bewirkte z. B. der eine Pol einer schwachen Zamboni'schen Säule an einem Strohhalmelektrometer eine Divergenz von 2°; als aber mit derselben Säule ein mit diesem Elektrometer verbundener Condensator geladen wurde, dessen Platten $1^1/_2$ Zoll Durchmesser hatten und welche durch ein Glimmerblatt getrennt waren, erhielt man eine Divergenz von 30°, also eine ungefähr 15mal größere Wirkung.

An einem zu genauen Messungen eingerichteten Dellmann'schen Elektrometer erhielt Kohlrausch mit einer Daniel'schen Säule von 60 Plattenpaaren (die Beschreibung derselben wird später folgen) eine Ablenkung von 23°. Ein einziger Becher dieser Säule, also eine Elektricitätsquelle von 60mal geringerer Spannung, brachte mit Hülfe eines Condensators, dessen Platten $5^1/_2$ Zoll Durchmesser hatten, an demselben Elektrometer eine Ablenkung von 65° hervor. Da sich nun für jenes Elektrometer die elektrischen Ladungen, welche eine Ablenkung von 23° und 65° bewirken, zu einander verhalten wie 2,25 zu 9,74 (Pogg. Annal. Bd. LXXII S. 385), so ist die Verstärkungszahl jenes Condensators $60\,\frac{9{,}74}{2{,}25}$, also nahezu 260.

Der Condensator ist, wie wir bald sehen werden, besonders für die Lehre vom Galvanismus von großer Wichtigkeit geworden.

53 **Geschwindigkeit der Elektricität.** Mit Hülfe der Leydner Flasche hat man die Geschwindigkeit zu bestimmen gesucht, mit welcher sich das elektrische Fluidum durch die Körper verbreitet. Isolirte Metalldrähte, die eine Gesammtlänge von einer halben Meile haben, werden von dem Entladungsschlage momentan durchlaufen. Diese Versuche wurden in England und Frankreich in den Jahren 1745 bis 1750 angestellt. In dieser Zeit stellte man auch Versuche über die Fortpflanzung der Elektricität im Wasser und in feuchtem Boden an. Von einem gegebenen Punkte ausgehend, wurde ein mehrere hundert Toisen langer Metalldraht, durch Pflöcke von trockenem Holze isolirt, über ein Terrain von sehr abwechselnder Natur und über Flüsse hinweggeleitet und das entfernte Ende in den Boden gesteckt. Am Ausgangspunkte wurde eine geladene Flasche auf den Boden gestellt und mit dem einen Ende des Drahtes der Knopf berührt. Der elektrische Schlag ging durch die ganze Länge des Drahtes hindurch, ging dann in den Boden über, um in demselben zur äußeren Belegung der Flasche zurückzukehren.

Der Länge des Weges und der mannigfachen Hindernisse ungeachtet, erfolgte die Entladung der Flasche ebenso momentan, als ob man einen gewöhnlichen Auslader angewendet hätte. Genauere Angaben über die Geschwindigkeit der elektrischen Entladung folgen später.

54 **Die Lichtenbergischen Figuren,** welche einen charakteristischen Unterschied zwischen den beiden Elektricitäten anzudeuten scheinen, lassen sich besonders gut mit der Leydner Flasche darstellen. Man lade die innere Belegung mit positiver Elektricität und lasse dann einen Funken vom Knopf auf eine dünne Harzscheibe schlagen. Wenn man dann die Harzscheibe mit einem Staube pudert, welcher geneigt ist, die negative Elektricität anzunehmen (wie semen lycopodii, gepulvertes Colophonium u. s. w.), so zeigt der Staub die Form eines strahlenförmigen Sternes. Ladet man aber die innere Belegung mit negativer Elektricität, läßt man auf eine zweite Harzscheibe den negativer Funken vom Knopfe überschlagen, so bildet der aufgepuderte Staub strahlenlose Ringe oder Zonen. Man bedient sich zu den negativen Figuren am besten eines Staubes, der leicht positiv elektrisch wird wie fein zerriebener Mennig.

Fig. 143.



Fig. 144.



Lichtenberg setzte, um diese Figuren zu erhalten, ein Metallrohr auf die Harzplatte und ließ auf dieses den elektrischen Funken schlagen. Ein positiver Funke liefert eine strahlige Figur, Fig. 144, ein negativer eine ringförmige, Fig. 143. Das anzuwendende Pulver muß sehr fein sein und wird am besten durch recht feine Leinwand durchgebeutelt. Das Pulver wird durch die Reibung an den Oeffnungen der Leinwand elektrisch und setzt sich auf denjenigen Stellen der Harztafel ab, welche die entgegengesetzte Elektricität haben.

Elektrische Funken und Büschel. Die stärksten elektrischen Ent- 55
ladungen, welche auf einem Körper angehäuft sind, geben nie auch nur den geringsten Lichtschein von sich, so lange das elektrische Gleichgewicht besteht und die elektrischen Flüssigkeiten in Ruhe sind. Die erste Bedingung für die Erscheinung des elektrischen Lichtes ist also Bewegung der Flüssigkeiten und Störung des Gleichgewichtes. Diese Bedingung ist immer nöthig, aber keineswegs hinreichend; es bedarf nämlich außerdem noch, daß die Spannung, welche das elektrische Ausströmen bedingt, hinlänglich groß sei. Während z. B. die Elektricität einer weniger kräftigen Maschine durch einen Metalldraht in den Boden überströmen kann, ohne daß man ein Leuchten im Dunkeln wahrnimmt, sieht man bei Anwendung starker Maschinen den Draht mit einem hellen Schein umgeben. Die zur Hervorbringung des elektrischen Lichtes nöthige Spannung hängt von dem Zustande, der Gestalt und der Leitfähigkeit der Mittel ab, durch welche sich die Elektricität bewegen muß. Manchmal geben ganz schwache Spannungen ein helles Licht, in anderen Fällen reichen wieder die stärksten Spannungen nicht hin, den geringsten Lichtschein zu geben.

Aus stumpfen Ecken und Spitzen strömt die Elektricität von selbst, schon bei ganz schwacher Spannung, aus, und man beobachtet dabei im Dunkeln glänzende Lichtbüschel, die oft mehrere Zoll lang sind. Bei runden Körpern sind schon starke Ladungen nöthig, wenn die Elektricität von selbst ausströmen soll; wenn man ihnen aber einen mit dem Boden in Verbindung stehenden Leiter nähert, so springen Funken, nach Umständen selbst auf große Entfernungen über, die dann einen dem Blitz ähnlichen Zickzack bilden.

Fig. 145 stellt den Funken der Van Marum'schen Maschine in $^1/_8$ der natürlichen Größe dar; der Funke schlägt hier von einer kleinen am Conductor befindlichen Kugel zu einer größeren des Funkenziehers über.

Fig. 145.



Die Schlagweite, auf welche hin man aus einem elektrisirten Körper einen Funken ziehen kann, hängt von der Leitfähigkeit der Substanz, von der Größe ihrer Oberfläche und von der Stärke der elektrischen Ladung ab.

Um die Funken zu vervielfältigen, muß man den Leiter, durch welchen die Elektricität in den Boden überströmt, oft unterbrechen, darauf beruhen mehrere Spielereien.

Mit Metallperlen, die auf einem Seidenfaden aufgereiht sind, jedoch so, daß jede Perle von der folgenden durch Knoten ungefähr ein Millimeter weit entfernt gehalten wird, kann man Namenszüge und allerlei Figuren bilden, welche so lange leuchten, als man die Maschine dreht, von deren Conductor die Elektricität durch diese Kette in den Boden strömt.

Wenn man nach Grüel's Angabe eine Kette, deren Glieder aus nicht zu dickem Eisendraht verfertigt sind, als Theil des Schließungsbogens bei der Entladung einer Leydner Flasche anwendet, so sprüht jeder einzelne Ring Fünkchen aus, welche die charakteristische Verbrennungserscheinung des Eisens zeigen.

Fig. 146.



Fig. 147.



Blitzröhren, Fig. 146, sind Glasröhren, auf welchen man rautenförmige Stanniolblättchen so aufgeklebt hat, daß zwischen zwei einander zugekehrten Spitzen ein kleiner Zwischenraum bleibt, wie Fig. 147 zeigt. Gewöhnlich klebt man sie so auf, daß sie eine um die Röhre laufende Schraubenlinie bilden. Wenn man das eine Ende einer solchen Röhre in der Hand haltend, das andere an den Conductor der Maschine bringt, während sie gedreht wird, so sieht man im Dunkeln fortwährend zwischen je zwei Rauten Funken überspringen, so daß eine fast zusammenhängende Lichtlinie auf der Röhre erscheint.

Eine Blitztafel ist Fig. 148 dargestellt. Eine Glasplatte ist auf beiden Seiten mit Stanniol belegt, ganz, wie wir es bei der Franklin'schen Tafel gesehen haben; die vordere Belegung, auf deren Mitte eine Messingplatte mit einem Häkchen aufgekittet sein muß, ist durch zwei Reihen sich kreuzender Schnitte von ungefähr $1/_2$ Millimeter Breite in einzelne rautenförmige Stückchen getheilt. Wird nun die hintere Fläche zum Boden abgeleitet, der Haken an der vorderen aber mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in Verbindung gebracht, so kann eine Ladung des Apparates nur dadurch zu Stande kommen, daß die Elektricität auf der Vorderfläche von einer Raute zur anderen überspringt, was zur Folge hat, daß von der Mitte aus Blitze die ganze Tafel nach allen Seiten hin durchzucken. Besonders glanzvoll zeigt sich die Erscheinung bei einer raschen Entladung der Tafel.

Da eine etwas große Tafel bei der in Fig. 116, S. 119 abgebildeten Aufstellung etwas zerbrechlich ist, so kann man sie in eine staffeleiartige Fassung bringen, wie es Fig. 148 zeigt.

Man hat diese Spielereien noch auf mannigfache Weise abgeändert, diese Beispiele mögen jedoch genügen.

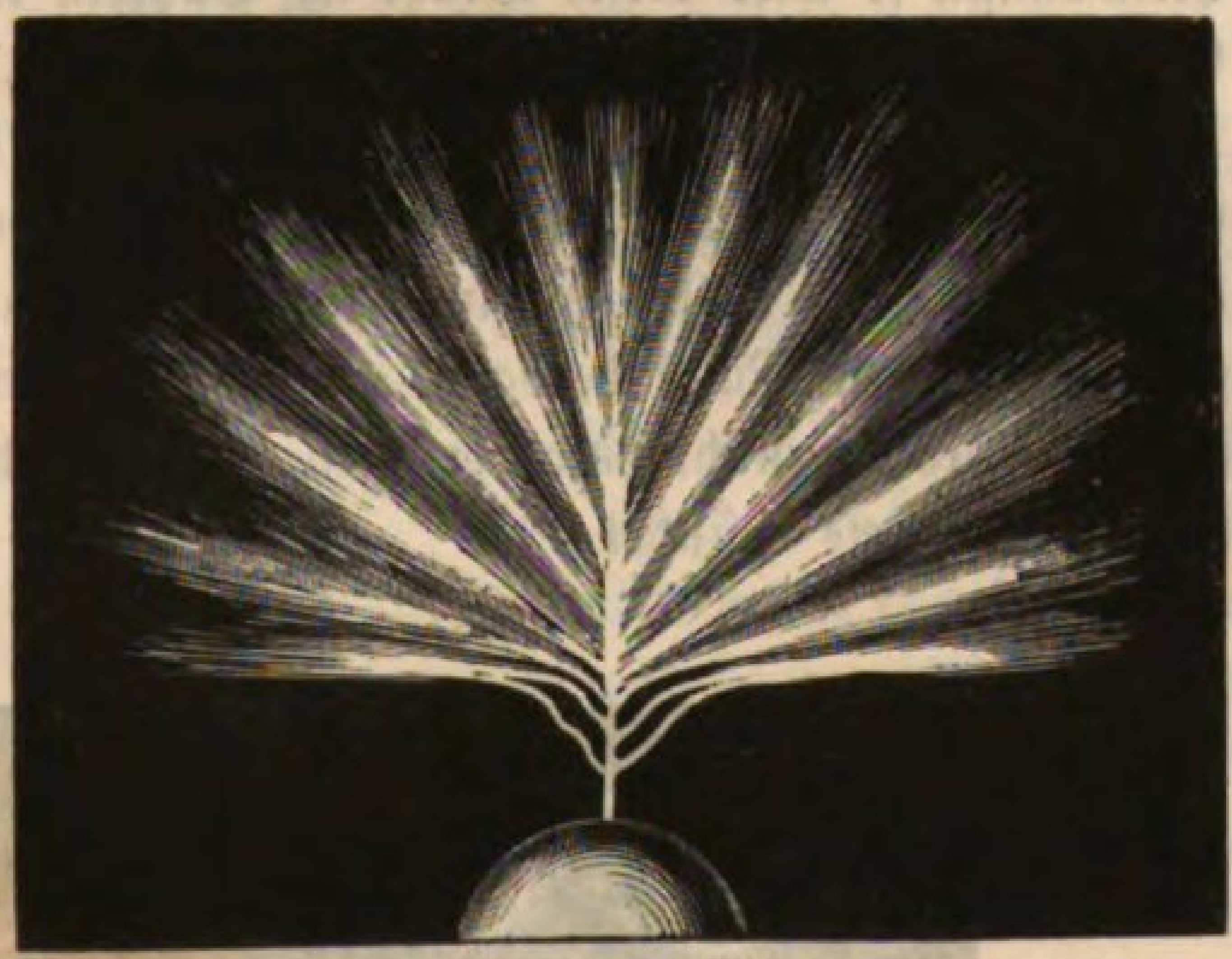
Wenn man den Conductor der Elektrisirmaschine mit einer kleinen Kugel von 3 bis 6 Linien Durchmesser versieht und derselben eine zum Boden abgeleitete Metallfläche oder die Hand nähert, so erhält man stark verästelte Funken, die bei größerer Annäherung in gewöhnliche Funken übergehen. Wenn die Maschine recht kräftig wirkt, so gehen diese verästelten Funken mehr und mehr in einen förmlichen, nur im Dunkeln bemerkbaren Büschel über, der aber noch deutlich

Fig. 148.



$\frac{1}{8}$ $\frac{1}{10}$

Fig. 149.



aus einzelnen, mit Geräusch überschlagenden verästelten Funken besteht. Das Ausströmen der Elektricität wird um so gleichförmiger, je stärker die Maschine wirkt oder je kleiner die Kugel ist. — Hat die Kugel eine der Kraft der Maschine entsprechende Größe, so ist die Anhäufung der Elektricität in derselben so stark, daß büschelförmige Ausströmungen selbst gegen Halbleiter, wie Holz u. s. w., ja gegen die Luft allein stattfinden.

Van Marum's berühmte Maschine ist so kräftig, daß sie aus einer Kugel von $3\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser einen Lichtbüschel von der Fig. 149 in $\frac{1}{10}$ der natürlichen Größe abgebildeten Form liefert. Bei schwachen Maschinen erhält man die durch freie Ausstrahlung entstehenden Büschel am besten, wenn man auf den Conductor einen am Ende abgerundeten Messingstab von 1 bis 2 Linien Durchmesser aufsetzt.

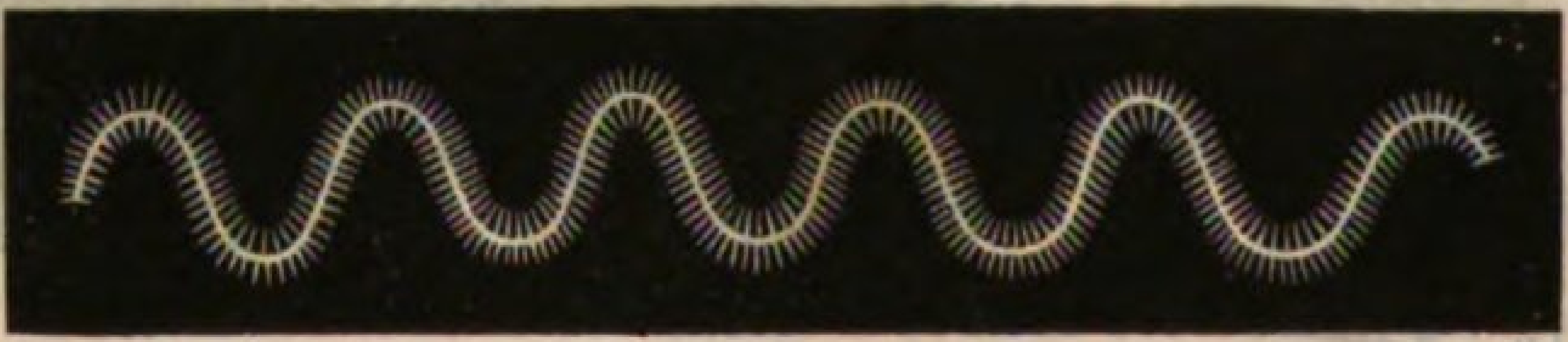
Je dünner das Ende des Metallstabes gemacht wird, welcher den Büschel geben soll, desto continuirlicher wird die Entladung, d. h. desto weniger sind einzelne Verzweigungen im Büschel zu unterscheiden, und desto kleiner wird der Büschel, der endlich in einen kleinen leuchtenden Punkt übergeht, wenn der Draht in eine Spitze ausläuft. Bei stärkeren Maschinen beobachtet man selbst am Ende etwas dickerer Stäbe ein gleichförmiges ruhiges Glimmen.

Für positive Elektricität sind die Büschel am größten; ist der Conductor mit negativer Elektricität geladen, so sind die Büschel kleiner und gehen viel eher in einen kleinen leuchtenden Stern und in ruhiges Glimmen über.

Die Büschel erhält man nicht bloß, wenn man auf den Conductor der Elektrisirmaschine eine kleine Kugel oder einen abgerundeten Metallstab aufsetzt, sondern auch wenn man eine solche kleine Kugel oder einen solchen Stab ableitend berührt und gegen den Conductor der Maschine hält; es strömt alsdann die durch Vertheilung im Stabende angehäufte Elektricität in Büschelform gegen den Conductor aus. Hält man eine Spitze dem Conductor entgegen, so erscheint an derselben der kleine leuchtende Stern.

Wenn man an den Funkenzieher, Fig. 95, einer kräftigen Elektrisirmaschine einen ganz dünnen Metalldraht hält, welcher fast bis auf den Boden herabhängt, so wird dieser Draht im Dunkeln leuchtend, so oft ein Funken vom Conductor auf den Funkenzieher überspringt. Es schießen dabei aus dem Drahte nach allen Seiten hin kurze Strahlen hervor; Van Marum hat mit seiner trefflichen Maschine diese Erscheinung entdeckt und in großem Maßstabe dargestellt. Fig. 150 stellt ein Stück von Van Marum's leuchtendem Drahte in verkleinertem Maßstabe dar. — Mit schwachen Maschinen läßt sich das Leuchten des Drahtes nicht hervorbringen, wenn sich derselbe nicht in einem luftverdünnten Raume befindet.

Fig. 150.



56 **Das elektrische Licht im luftverdünnten Raume.** Da der luftleere Raum den Uebergang der Elektricität sehr erleichtert, so begünstigt er auch die elektrischen Lichterscheinungen. Im luftverdünnten Raume schlägt der elektrische Funken auf große Entfernungen über und breitet sich in prachtvolle Lichtgarben von blaßvioletter Farbe aus; im luftverdünnten Raume werden die elektrischen Lichtbüschel viel größer und schöner. Das Leuchten eines dünnen Drahtes läßt sich im luftleeren Raume schon mit schwächeren Maschinen hervorbringen.

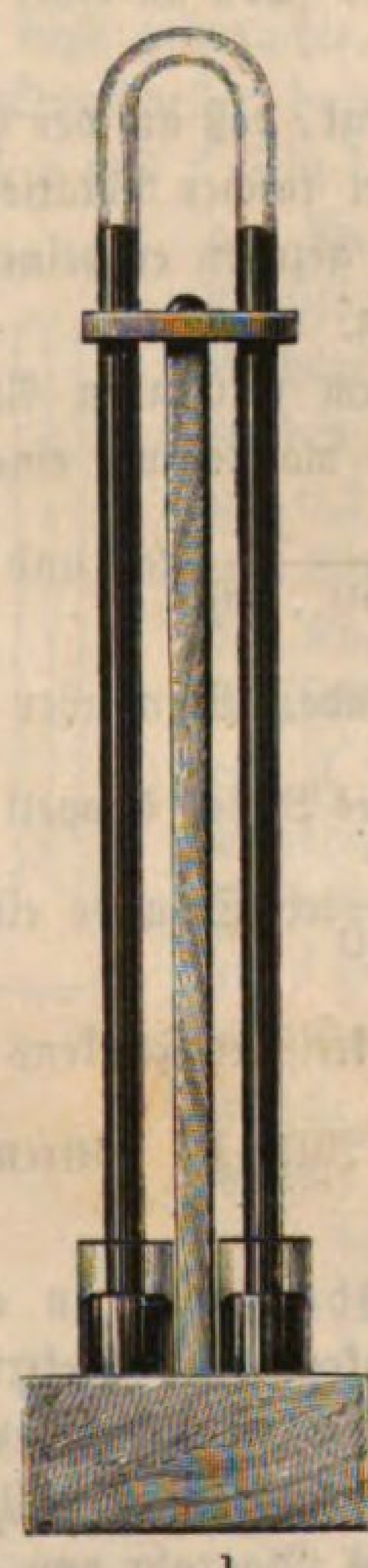
Fig. 151 stellt einen Apparat dar, wie er häufig angewandt wird, um das elektrische Licht im verdünnten Raume zu zeigen. An beiden Enden eines elliptischen Glasgefäßes sind Metallfassungen angekittet; die Fassung auf der einen Seite ist mit einem Hahn versehen und kann auf eine Luftpumpe aufgeschraubt werden. Die Fassung der anderen Seite ist mit einer Lederbüchse versehen, durch welche der mit dem Knopf *b* endigende Messingstab *cb* hindurchgeht, so daß man den Knopf *b* nach Belieben dem Knopfe *a* nähern kann. Wenn man den Apparat möglichst luftleer gemacht hat, so strömt die Elektricität leicht über und erfüllt das ganze Gefäß mit Licht. Wenn man durch den Hahn etwas Luft einströmen läßt, so wird das Licht weniger diffus und bildet purpurfarbene Lichtbogen zwischen *b* und *a*. Je mehr Luft man einläßt, desto mehr nimmt die Ausdehnung der Lichterscheinung ab, sie nähert sich mehr und mehr der Form des gewöhnlichen elektrischen Funkens.

Sehr gut lassen sich auch die elektrischen Lichterscheinungen im verdünnten Raume mit einer Luftpumpenglocke, Fig. 2 Tab. I., machen, welche oben eine Messingfassung mit einer Stopfbüchse hat, durch welche ein Messingstab hindurchgeht, den man auf und nieder ziehen kann, und an dessen unterem Ende eine Kugel oder irgend ein anders geformtes Metallstück angeschraubt ist.

Fig. 151.



Fig. 152.

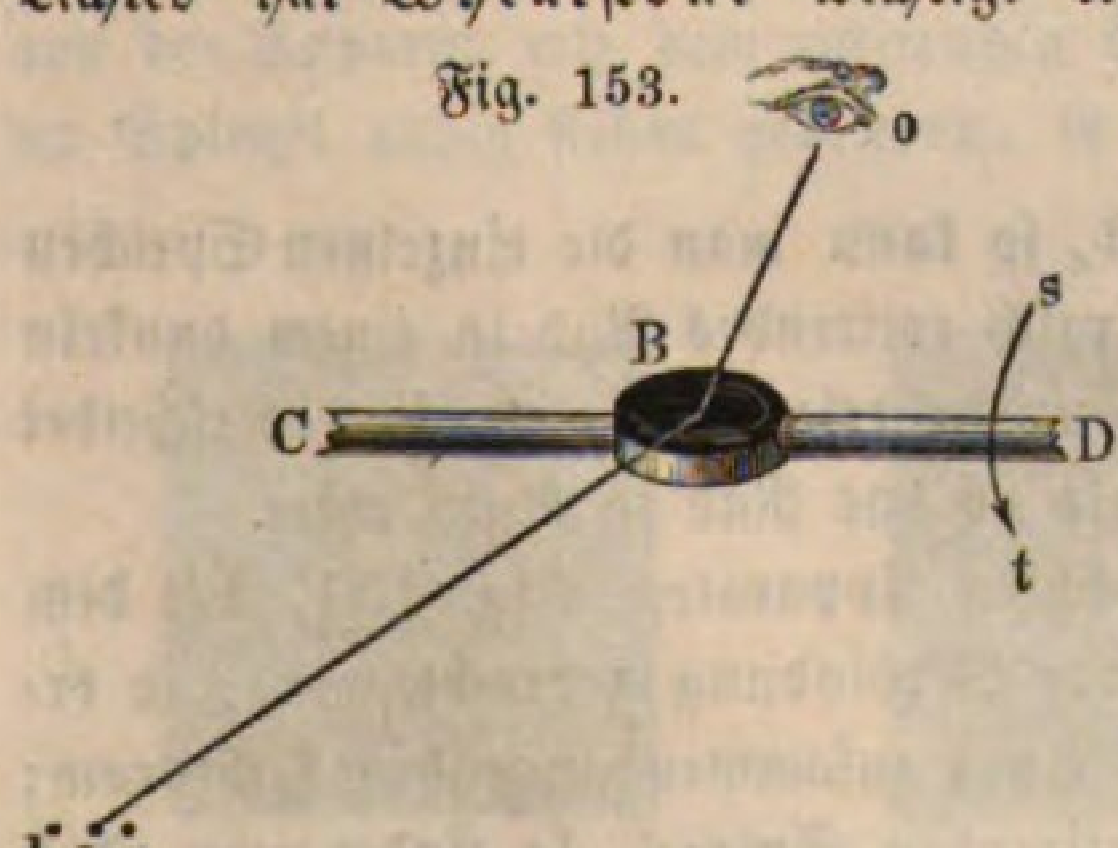


Auch die Toricellische Leere durchströmt die Elektricität mit Lichterscheinung.

Picard bemerkte zuerst, daß ein Barometer im Dunkeln leuchtet, wenn das Quecksilber auf und nieder schwankt, und bald überzeugte man sich, daß diese Erscheinung von der durch die Reibung des Quecksilbers an den Wänden der Röhre entwickelten Elektricität herrühre. Um das elektrische Licht in der Toricellischen Leere zu beobachten, construirte Cavendish das Fig. 152 dargestellte Doppelbarometer, dessen Anwendung wohl ohne weitere Erklärung verständlich ist.

Dauer des elektrischen Funkens. Ueber die Dauer des elektrischen 57
Lichtes hat Wheatstone wichtige Untersuchungen angestellt. In Fig. 153 sei *a* ein leuchtender Punkt, etwa eine Kerze, *B* sei ein ebener Metallspiegel, welcher um eine horizontale Axe *CD* drehbar ist, *o* endlich sei das Auge des Beobachters. Wenn der Spiegel ruhig steht, sieht das Auge *o* das Bild des Punktes *a* im Spiegel *B* an einer bestimmten Stelle, die sich aber ändert, wenn der Spiegel gedreht wird; ist die Drehung rasch genug, so erscheint statt

Fig. 153.



des Kerzenbildes ein Lichtstreif, indem der Lichteindruck von allen den Stellen, welche das Kerzenbild nach und nach durchläuft, noch eine Zeitlang im Auge nachwirkt, und man so den Lichteindruck von den früheren Stellungen des Bildes noch wahrnimmt, während es schon an einer ganz anderen Stelle angekommen ist.

Wenn man nun dafür sorgt, daß an der Stelle der Kerze ein elektrischer Funken überspringt, so wird bei rascher Rotation des Spiegels das Bild des Funkens ebenfalls in die Länge gezogen erscheinen, wenn der elektrische Funken nur eine ganz geringe Dauer hat.

Der Spiegel war an einem rotirenden Apparat so befestigt, daß er 50 Umdrehungen in einer Secunde machte; um einen Bogen von 1^0 zu durchlaufen, brauchte also der Spiegel $\frac{1}{50 \cdot 360}$tel, und also, um einen Winkel von $\frac{1}{2}^0$ zu durchlaufen, $\frac{1}{36000}$tel Secunde. Nun aber ist den Lehren der Optik zufolge die Winkelgeschwindigkeit des Bildes doppelt so groß als die des Spiegels, folglich legt das Bild in $\frac{1}{72000}$tel Secunde einen Bogen von $\frac{1}{2}$ Grad zurück, wenn also die Dauer des elektrischen Funkens auch nur $\frac{1}{72000}$tel Secunde betrüge, so müßte schon sein Bild im rotirenden Spiegel als $\frac{1}{2}^0$ breiter Streifen erscheinen.

Nach einander bot nun Wheatstone in einer Entfernung von 10 Fuß dem Spiegel 4 Zoll lange Funken einer Elektrisirmaschine dar, ferner Entladungsfunken einer Leydner Flasche, ein 4 Fuß langes Glasrohr, worin der elektrische Funken längs einer schraubenförmigen Reihe von Scheibchen aus Zinnfolie überspringen mußte, ein luftleeres Glasrohr von 6′ Länge, in welchem der Funken beim Durchgang eine ununterbrochene Linie von geschwächtem elektrischen Lichte erzeugte u. s. w. Allein in allen diesen Fällen erschienen die reflectirten Bilder, wenn sie innerhalb des Gesichtsfeldes auftraten, vollkommen ungeändert und genau auf eben die Weise, als ob sie von dem ruhenden Spiegel reflectirt worden wären.

Die Dauer eines solchen elektrischen Funkens beträgt also sicherlich weniger als $\frac{1}{72000}$tel Secunde.

Wenn ein Rad rasch umgedreht wird, so kann man die einzelnen Speichen nicht mehr unterscheiden, wenn aber ein rasch rotirendes Rad in einem dunkeln Zimmer plötzlich durch einen elektrischen Funken erleuchtet wird, so unterscheidet man die einzelnen Speichen so deutlich, als ob das Rad in Ruhe wäre.

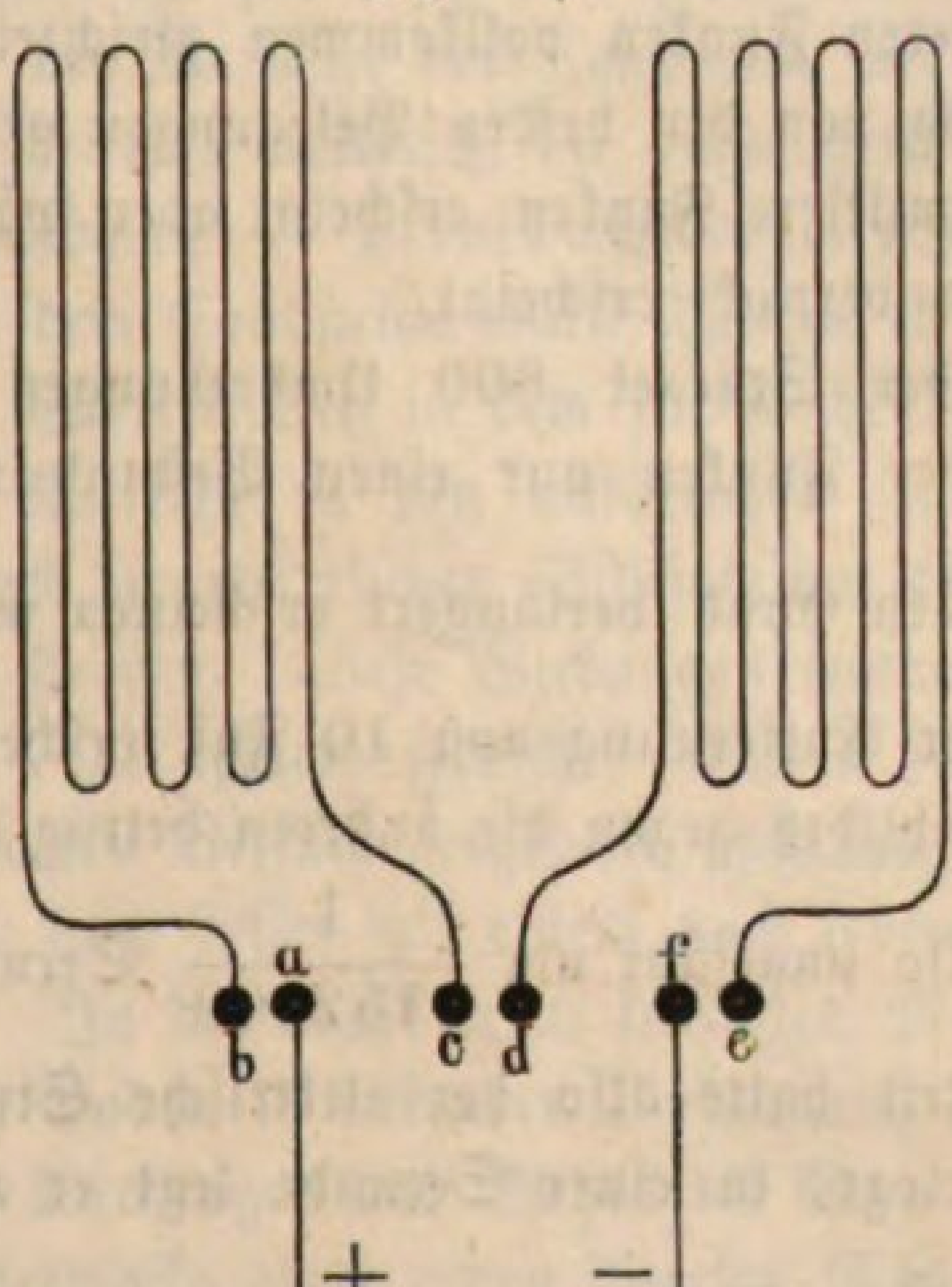
Wenn der Ring *c* des luftleer gemachten Apparates, Fig. 151, mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in leitende Verbindung gebracht wird, so erblickt man zwischen den Kugeln *a* und *b* einen zusammenhängenden Lichtstrom; untersucht man aber denselben in dem rotirenden Spiegel, so findet man, daß

diese Continuität nur scheinbar ist und von einer raschen Folge vorübergehender Blitze herrührt.

Wheatstone wandte den rotirenden Spiegel auch an, um die Geschwindigkeit zu ermitteln, mit welcher die Elektricität einen sehr langen Leiter durchläuft. Die Vorrichtung, die er dazu gebrauchte, war ungefähr folgende:

Auf einem $3\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser haltenden Brett, dem Funkenbrett, waren sechs Kugeln, *a*, *b*, *c*, *d*, *e* und *f* (Fig 154) gehörig isolirt befestigt. An der Kugel *a* war ein Draht befestigt, welcher mit der inneren Belegung einer Leydner Flasche in Verbindung gebracht werden konnte; die Kugel *b* war von *a* um 0,1 Zoll entfernt, von *b* aber führte ein Draht in vielen Windungen nach der Kugel *c*. Die Kugel *d* war nun ebenfalls 0,1 Zoll von *c* entfernt, und von *d* führte ein gleichfalls vielfach gewundener Draht zur Kugel *e*, welcher in einer Entfernung von 0,1 Zoll der Kugel *f* gegenüberstand, von welcher endlich ein Draht zur äußeren Belegung der Flasche führte. Wenn nun der letzterwähnte Draht wirklich die äußere Belegung der geladenen Flasche berührt, so muß, wenn man mit dem an *a* befestigten Drahte die Kugel der Flasche berührt, ein Funken zwischen *a* und *b*, ein zweiter zwischen *c* und *d*, ein dritter zwischen *e* und *f* überspringen.

Fig. 154.



Es fragt sich nun, sind diese drei Funken vollkommen gleichzeitig, auch wenn die Länge der Drahtwindungen sehr bedeutend ist? Bei den von Wheatstone angestellten Versuchen betrug die Länge der Drahtwindungen zwischen *b* und *c* $\frac{1}{4}$ englische Meile. Ebenso groß war die Länge des Drahtes zwischen *d* und *e*, so daß der Weg, welchen der elektrische Strom von der inneren zu der äußeren Belegung zu durchlaufen hatte, $\frac{1}{2}$ englische Meile betrug.

Die sechs Kugeln des Funkenbrettes lagen in einer horizontalen Linie.

Zehn Fuß vom Funkenbrett entfernt in gleicher Höhe mit demselben war nun der Apparat mit dem rotirenden Spiegel *B*, Fig. 153, angebracht. Wäre der Spiegel ruhig stehen geblieben, so würde das Auge *o* die Bilder der drei Funken, welche in *l*, *a* und *r* entstehen, so gesehen haben, wie Fig. 155 zeigt, nämlich als drei in einer Horizontallinie liegende leuchtende Punkte; bei rascher Rotation aber erschienen alle drei in die Länge

Fig. 155.

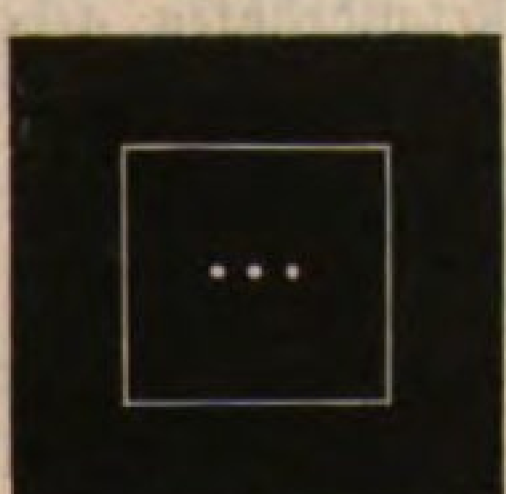
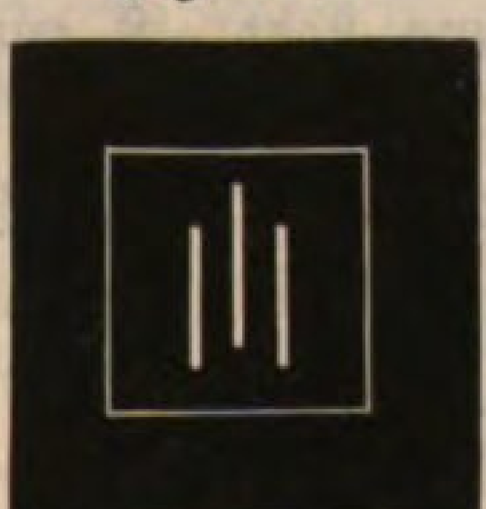


Fig. 156.



gezogen, und außerdem erschien die mittlere noch gegen die äußeren verrückt, und zwar so, wie Fig. 156 (a. v. S.) zeigt, wenn der Spiegel in der Richtung des Pfeils *st* rotirte.

Daraus ergeben sich nun folgende wichtige Resultate:

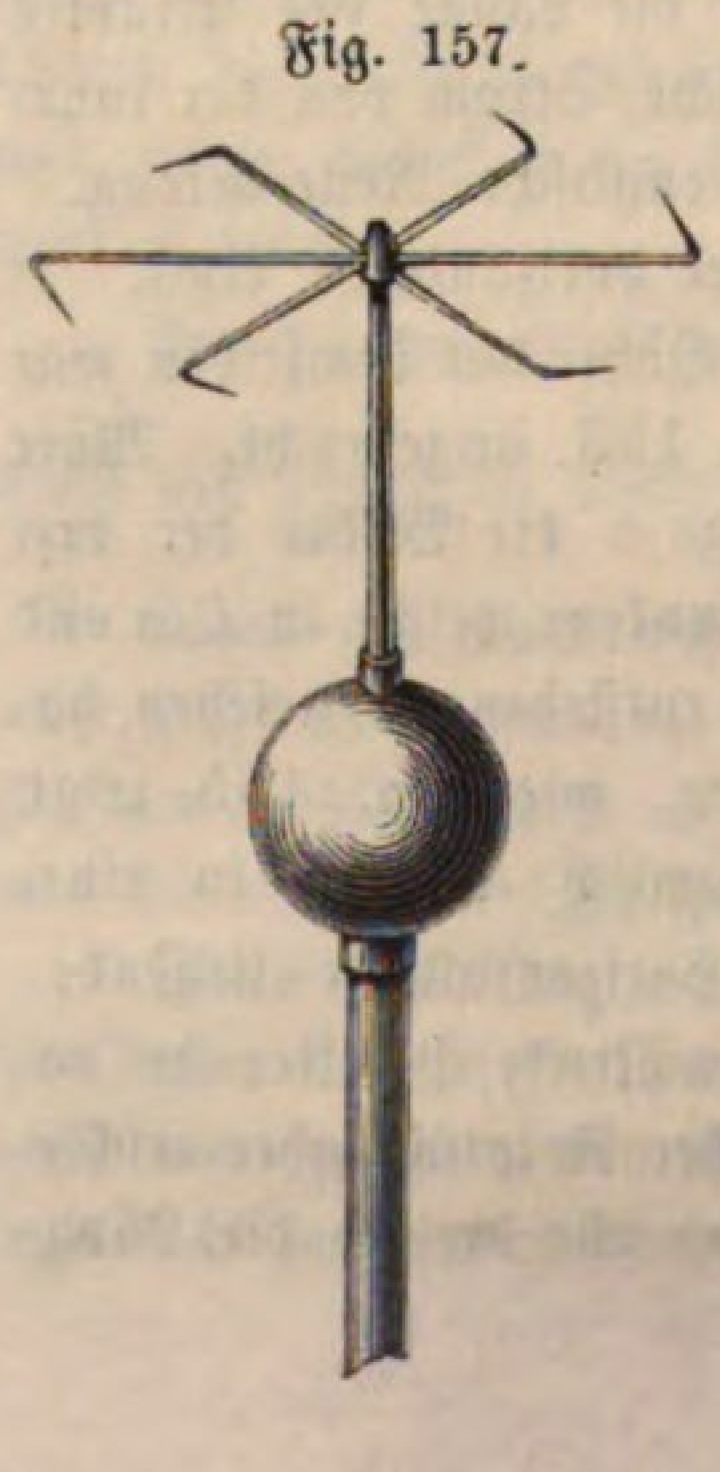
1) Wenn der Entladungsdraht sehr lang ist, so erfolgt keine momentane, sondern eine successive Entladung, weshalb die Funken in die Länge gezogen erscheinen.

2) Da die beiden äußeren Funken im Spiegelbilde ihre gegenseitige Lage behalten, so erscheinen also die beiden äußeren Funken vollkommen gleichzeitig, der elektrische Strom beginnt also gleichzeitig von den beiden Belegungen gegen die Mitte des Entladungsdrahtes hin, der mittlere Funken erscheint aber später, da sein Bild gegen das der äußeren Funken verrückt erscheint.

Bei diesen Versuchen machte nun der Spiegel 800 Umdrehungen in der Secunde, woraus folgt, daß, wenn der Funken nur einen Bestand von $\frac{1}{1152000}$ Secunde hat, er um einen halben Grad verlängert erscheinen muß, also ungefähr so lang, wie ein Zoll in einer Entfernung von 10 Fuß erscheint.

Die Verschiebung des mittleren Funkenbildes gegen die äußeren betrug ungefähr $1/2^0$, der mittlere Funken erschien also ungefähr um $\frac{1}{1152000}$ Secunde später als die beiden äußeren, in dieser Zeit hatte also der elektrische Strom einen Weg von $1/4$ englische Meile zurückgelegt, in einer Secunde legt er also einen Weg von $\frac{1152000}{4} = 288000$ englische Meilen (= 60000 deutschen Meilen) zurück, eine Geschwindigkeit, welche größer ist, als die des Lichtes im Weltraum, welches in einer Secunde nur 194000 englische Meilen (42000 deutsche Meilen) durchläuft. Da der Erdumfang ungefähr 5400 deutsche Meilen beträgt, so ist also die Geschwindigkeit der Elektricität eine solche, daß ein elektrischer Strom die Erde in einer Secunde 10mal umkreisen würde.

Fig. 157.



58 **Bewegungen, welche durch das Ausströmen von Elektricität hervorgebracht werden.** Die Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen sind bereits besprochen worden, es bleiben hier nur noch einige andere durch die Elektricität bewirkte Bewegungen zu betrachten. — Auf eine leitende Spitze, Fig. 157, welche mit dem Conductor der Maschine in Verbindung steht, ist ein aus Metalldrähten gebildetes, leicht in horizontaler Ebene umdrehbares Rädchen aufgesetzt. Die zugespitzten Enden der Drähte sind, von der Mitte aus gesehen, alle nach derselben Richtung umgebogen. Ein solcher Apparat führt den Namen eines elektrischen Flugrades. Sobald die Maschine gedreht wird, beginnt das Flugrad zu ro-

tiren, und wenn man es im Dunkeln beobachtet, sieht man an den Spitzen die Elektricität in Gestalt von Lichtbüscheln ausströmen.

Diese Bewegung wird durch das Ausströmen des elektrischen Fluidums aus den beiden Spitzen hervorgebracht und ist eine der Umdrehung der Segner'schen Wasserräder ganz analoge Erscheinung.

Bewegungen durch den elektrischen Rückschlag. Froschschenkel, 59
welche in der Nähe des Conductors einer Elektrisirmaschine an Metalldrähten aufgehängt sind, scheinen gar keine Veränderung zu erleiden, wenn durch Drehen der Maschine der Conductor mit $+E$ geladen wird; jedoch wird er durch Vertheilung elektrisch, die angezogene $-E$ sammelt sich im Froschschenkel, die abgestoßene $+E$ entweicht durch den Draht in den Boden. Sobald man nun aus dem Conductor einen Funken zieht, bringt die plötzliche Wiedervereinigung der Elektricitäten in dem Froschschenkel Zuckungen hervor, ein Beweis, daß bei der Rückkehr in den natürlichen Zustand die Moleküle der Körper durch den Druck der elektrischen Flüssigkeiten afficirt werden, welche sich wieder zu vereinigen streben. Diese Wirkungen werden mit dem Namen des Rückschlags bezeichnet. Mit einem Frosche, welcher schon 5 bis 6 Stunden getödtet ist, würde man den Versuch vergebens anstellen, er gelingt nur mit einem eben getödteten oder noch besser mit einem noch lebenden.

In der Nähe einer kräftigen Maschine empfindet auch ein Mensch, der mit dem Boden in leitender Verbindung steht, ähnliche Schläge. Später, wenn von den Wirkungen des Blitzes die Rede sein wird, werden wir sehen, daß eine Gewitterwolke durch einen directen Schlag und durch den Rückschlag wirken kann.

Der elektrische Geruch. Wenn aus irgend einer Hervorragung am 60
Conductor der Elektrisirmaschine die Elektricität ausströmt, so bemerkt man einen eigenthümlichen Geruch, den man den elektrischen Geruch nennt. Dieser Geruch rührt von einem eigenthümlichen Gase, dem Ozon, her, welches sich unter dem Einfluß der Elektricität bildet, und welches in seinem Verhalten viele Aehnlichkeit mit Chlor hat; es zersetzt z. B. wie das Chlor das Jodkalium; hält man gegen eine am Conductor der Maschine befindliche Spitze, welche einen Büschel und mit ihm den elektrischen Geruch giebt, ein Stück Papier, welches mit Jodkaliumkleister (Stärkekleister mit etwas Jodkalium) bestrichen ist, so wird der Kleister blau gefärbt, indem unter dem Einfluß des Ozons das Jodkalium zersetzt wird und das frei werdende Jod die Stärke blau färbt.

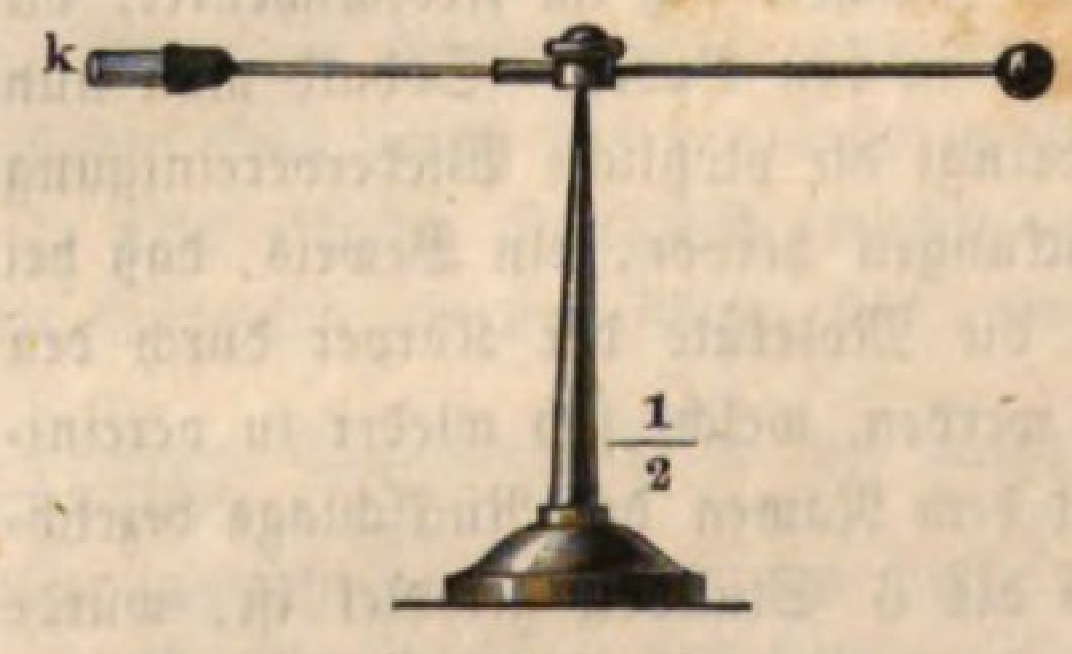
Auch ohne alle Elektricität, auf rein chemischem Wege läßt sich das Ozon erzeugen. Bringt man ein Stückchen Phosphor in ein Arzneiglas, in welchem sich so viel Wasser befindet, daß das Phosphorstück zur Hälfte herausragt, so zeigt die in der Flasche befindliche Luft nach einiger Zeit einen höchst intensiven Ozongeruch; hängt man einen Papierstreifen mit Jodkaliumkleister in die Flasche, so wird der Kleister blau.

Wahrscheinlich ist das Ozon eine eigenthümliche Modification des Sauerstoffs.

Elektricitätsentwickelung durch Druck. Wenn man eine Metall- 61
platte auf ein Stück Wachstaffent setzt und sie an einem isolirenden Handgriff

aufhebt, nachdem man etwas gedrückt hat, so findet man, daß die Metallplatte negativ, der Taffent positiv elektrisch geworden ist. Dieser Versuch rührt von Libes her. Haüy hat gezeigt, daß auch viele Mineralien mit glatten und polirten Oberflächen durch Druck elektrisch werden. Ein Stück Kalkspath z. B. wird, wenn man es etwas zwischen den Fingern drückt, ziemlich stark positiv elektrisch. Dasselbe findet auch beim Topas, dem Flußspath, dem Glimmer, dem Arragonit, dem Quarz und mehreren anderen Substanzen Statt, jederzeit hängt aber die entwickelte Elektricität von der Natur des drückenden Körpers ab. Haüy hat auch gefunden, daß die durch Druck elektrisch gewordenen Mineralien die Eigenschaft haben, mehrere Stunden, ja selbst mehrere Tage lang elektrisch zu bleiben. In dieser Hinsicht ist der Kalkspath ganz besonders merkwürdig, indem er selbst noch nach 11 Tagen entschiedene Zeichen von Elektricität giebt. Auf dieser Eigenschaft des Kalkspaths beruht die von Haüy construirte elektrische Nadel, welche Fig. 158 abgebildet ist. An einem auf einer Stahlspitze spielenden Achathütchen ist auf der einen Seite ein feines Glasstäbchen eingekittet, an dessen Ende das Kalkspathstückchen k mit Wachs befestigt wird; zur Aequilibrirung desselben dient ein auf der anderen Seite mit einer Messingkugel endigendes Messingstäbchen.

Fig. 158.



62 **Elektricitätserregung durch Wärme.** Der Turmalin hat die Eigenschaft, leichte Körper anzuziehen und abzustoßen, wenn er erwärmt wird; in Indien, wo dies Mineral sehr verbreitet ist, kannte man diese Eigenschaft schon vor Jahrhunderten. Eine so auffallende Erscheinung konnte der Aufmerksamkeit der Reisenden nicht entgehen; die Holländer machten diese merkwürdigen elektrischen Eigenschaften des Turmalins in Europa bekannt, wo sie bald von den Physikern näher untersucht wurden. Ganz besonders beschäftigten sich Canton, Priestley, Bergmann, Aepinus und Haüy damit. Folgende sind die wichtigsten Resultate ihrer Untersuchungen.

1) Ein durch Erwärmen elektrisch gemachter Turmalinkrystall zeigt an den beiden Enden seiner krystallographischen Hauptaxe zwei entgegengesetzte Pole, d. h. an einem Ende ist er positiv, am anderen negativ elektrisch. Die elektrischen Flüssigkeiten sind also in dem Turmalin ungefähr auf die Weise vertheilt, wie die magnetischen Fluida in einem Stahlstab.

2) Wenn man einen Turmalin, während er elektrisch ist, quer durchbricht, so hat jedes Stück wieder seine beiden Pole.

3) Für jeden Turmalin giebt es zwei Temperaturgränzen, zwischen welchen die elektrischen Erscheinungen stattfinden. Unterhalb und oberhalb dieser Gränze verhält sich der Turmalin wie jeder andere Körper, er zeigt keine elektrische Polarität. Diese Temperaturgränzen sind gewöhnlich 10° und 150°. Für Turmaline von gleichen Dimensionen sind diese Gränzen fast dieselben, sie ändern sich aber mit der Länge.

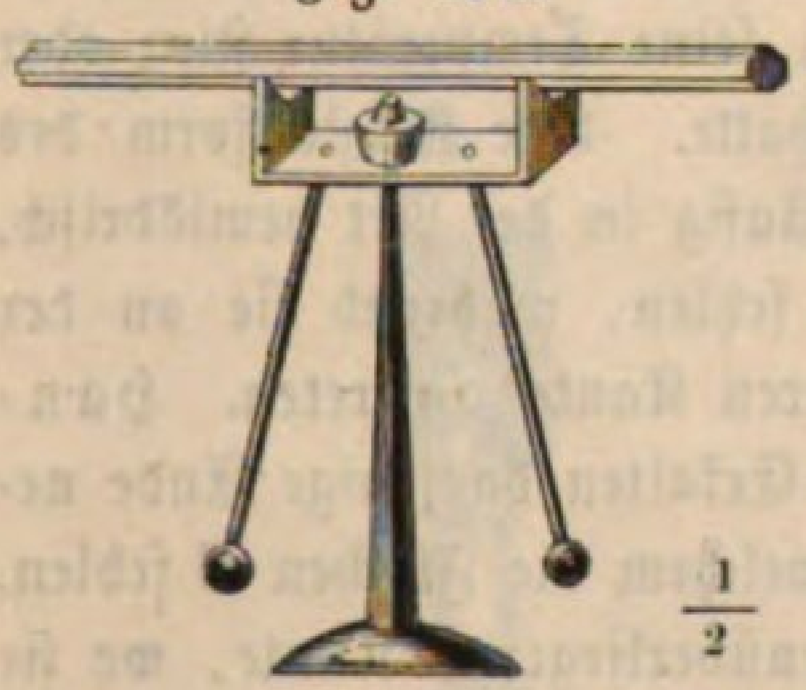
4) Wenn man einen Turmalin regelmäßig erwärmt, d. h. so, daß an allen Punkten seiner Oberfläche das Steigen der Temperatur dasselbe ist, so wird das eine Ende positiv, das andere negativ, und jeder Pol behält seine Elektricität, so lange die Temperatur steigt.

5) Wenn ein Turmalin durch Erwärmen elektrisch geworden ist und darauf regelmäßig erkaltet, so verschwindet für einen Augenblick alle Elektricität, dann kehrt sich die Polarität um, d. h. derjenige Pol, welcher während des Erwärmens positiv war, wird jetzt negativ; der bisher negative wird positiv. Dann aber bleibt die Lage der Pole unverändert, so lange die Temperatur sinkt.

6) Die polarischen Eigenschaften scheinen nur von dem Wechsel der Temperatur abzuhängen, so daß ein Turmalin bei einer gegebenen Temperatur sich in drei verschiedenen Zuständen befinden kann; bei unveränderter Temperatur ist er nämlich im natürlichen Zustande, er erhält aber eine bestimmte Polarität, wenn die Temperatur im Steigen, die entgegengesetzte, wenn sie im Sinken ist.

7) Haüy hat manchmal eine Umkehrung der Pole während des Erwärmens und während des Erkaltens beobachtet. Diese Erscheinung, welche nicht immer stattfindet, hängt vielleicht von der verschiedenen Temperatur der äußeren und inneren Schichten ab.

Fig. 159.



$\frac{1}{2}$

Um die hier besprochenen elektrischen Erscheinungen des Turmalins zu untersuchen, haben die meisten Beobachter den zu untersuchenden Krystall in einem Papierschiffchen an einem ungedrehten Faden aufgehängt, so daß seine Längenaxe horizontal liegend sich leicht in dieser horizontalen Ebene um die verticale durch den Faden gebildete Axe drehen kann; Haüy legte ihn auf den Fig. 159 dargestellten Apparat. Die Polarität des Stängelchens läßt sich nun leicht durch Annäherung eines elektrischen Körpers, z. B. einer geriebenen Siegellackstange, nachweisen, welche das eine Ende der Säule anzieht, das andere dagegen abstößt.

Schon Haüy erkannte, daß das Auftreten der Elektricität beim Erwärmen gewisser Krystalle mit der Hemiëdrie derselben im Zusammenhange stehe, ohne jedoch die Art dieses Zusammenhanges näher zu verfolgen. Brewster (Pogg. Annal. 2. Bd. S. 301) entdeckte später viele Körper, welche beim Erwärmen polar-elektrisch werden, ohne daß an den Krystallen derselben bis jetzt eine Hemiëdrie beobachtet worden wäre; daher man noch nicht berechtigt ist, anzunehmen, daß polarische Elektricität und polarische Hemiëdrie stets eine Folge von einander sind.

Die Erscheinung der polaren Elektricität während des Erwärmens oder des Erkaltens findet sich aber doch am stärksten an hemiëdrischen Krystallen ausgeprägt und hier findet auch ein bestimmter Zusammenhang zwischen der elektrischen Polarität und der Krystallform Statt. Köhler (Pogg. Annal. 13. Bd. S. 629) hat diesen Zusammenhang für Borazit und Kieselzinkerz nachgewiesen, bei dem Turmalin aber hatte er einen solchen noch nicht ausfindig gemacht.

Rose (Pogg. Annal. 39. Bd. S. 285) hat die Beziehungen der elektrischen Polarität des Turmalins zu seiner Krystallform ausführlich untersucht und gelangte zu folgendem Resultate: Die vorherrschende Form des Turmalins ist eine dreiseitige Säule, deren Kanten durch je zwei der Säulenaxe parallele Flächen abgestumpft sind, wie Fig. 161 zeigt, und welche oben und unten durch Rhomboëderflächen begränzt ist; an dem einen Ende nun treffen die Kanten des Rhomboëders auf die Kanten der Säule, wie Fig. 160, welche den Krystall Fig. 161 von unten betrachtet darstellt. Am anderen Ende aber treffen die Rhomboëderkanten auf die Mitte der Säulenflächen wie Fig. 162 zeigt. Während die Temperatur steigt, zeigt nun das Ende Fig. 160 positive, das Ende Fig. 162 negative Elektricität; bei sinkender Temperatur hingegen ist das Ende Fig. 160 negativ, das andere aber positiv elektrisch.

Fig. 160.

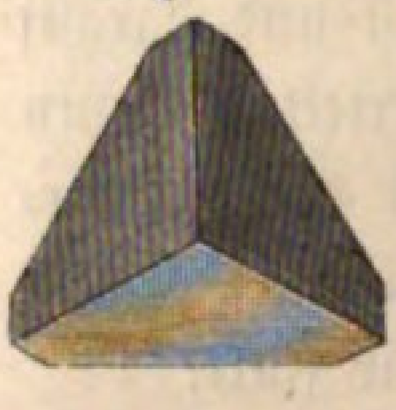


Fig. 161.



Fig. 162.



Hankel (Pogg. Ann. 49. Bd. S. 493) wandte zur Bestimmung der elektrischen Polarität von Krystallen das Bohnenberger'sche Elektroskop an. Der Zucker zeigte eine elektrische Polarität, wenn seine Temperatur stieg oder abnahm, wie dies bereits Brewster beobachtet hatte. Die Krystallform des Zuckers ist die Fig. 163 dargestellte; er ist aber häufig in der Art hemiëdrisch, daß die beiden Flächen *d* an der vorderen Kante fehlen, während sie an der gegenüberstehenden hinteren Kante auftreten. Hankel fand nun, daß beim Erkalten dasjenige Ende negativ elektrisch ist, an welchem die Flächen *d* fehlen, positiv hingegen die gegenüberliegende Kante, wo sie sich vorfinden. Beim Erwärmen zeigt der Krystall natürlich die entgegengesetzte Polarität.

Fig. 163.



Nach Brewster's Vorgang kann man die so eben besprochene Elektricitätserscheinung mit dem Namen Pyroelektricität bezeichnen. Rose und Rieß nennen denjenigen Pol des Krystalls, an welchem das algebraische Zeichen der Temperaturveränderung dem Zeichen der dadurch erregten Elektricität entspricht, den analog elektrischen Pol; den anderen Pol nennen sie den antilog elektrischen Pol.

Beim Turmalin ist demnach das Ende, an welchem die Flächen des Hauptrhomboëders auf den Flächen des dreiseitigen Prismas aufgesetzt erscheinen, Fig. 162, der antilog elektrische Pol, während Fig. 160 den analog elektrischen Pol darstellt.

Beim Borazit fanden Rose und Rieß Köhler's Angaben bestätigt, daß die vier Hexaëderecken, an welchen sich die glänzenden Tetraëderflächen finden, die antilogen, die vier anderen, die theils ohne, theils mit matten Tetraëderflächen vorkommen, die analogen Pole sind. Hankel dagegen fand, daß beim Borazit sowohl, wie beim Titanit während des Erwärmens

sowohl wie während des Erkaltens ein Polaritätswechsel stattfindet, so daß die Bezeichnung der Pole als analoge und antiloge für diese Fälle wenigstens ihre Bedeutung verliert (Pogg. Annal. Bd. LXXIV.)

Es giebt noch manche andere Krystalle, welche ähnliche elektrische Eigenschaften haben wie der Turmalin.

Entdeckung des Galvanismus. Im Jahre 1789 beobachtete Lud- 63
wig Galvani, Professor der Medicin in Bologna, eine ganz eigenthümliche Erscheinung. Er hatte zum Zwecke verschiedener Untersuchungen Froschschenkel präparirt, hing sie zufällig mittelst metallener Haken an einem eisernen Balcongeländer auf und sah, daß sie lebhafte Zuckungen machten. Ein gewöhnlicher Beobachter würde sich mit einer oberflächlichen Erklärung begnügt und sich alsbald wieder mit anderen Dingen beschäftigt haben. Galvani war weniger voreilig in seinem Urtheile; mit durchdringender Beobachtungsgabe und seltenem Scharfsinne ausgerüstet, erkannte er in dieser Erscheinung ein neues Princip, und wurde so der Schöpfer eines der wichtigsten Zweige der Physik, welcher nach ihm den Namen Galvanismus führt.

Die Froschschenkel, an welchen Galvani seine Beobachtungen machte, waren in der Weise präparirt, wie man Fig. 164 sieht. Nachdem das eben getödtete Thier durchgeschnitten ist, wird von dem unteren Theile rasch die Haut abgezogen, und indem man die Spitze der Scheere unter die beiden Schenkelnerven bringt, welche auf jeder Seite der Wirbelsäule als weiße Fäden erscheinen, nimmt man mit zwei Schnitten die zwei oder drei untersten Rückenwirbel weg, so daß die Schenkelnerven bloß liegen und die unteren Glieder nur durch sie mit den oberen Wirbelknochen zusammenhängen. Galvani hatte den kupfernen Haken in der Wirbelsäule befestigt und beobachtete jedesmal eine Zuckung der Schenkel, so oft sie mit dem eisernen Geländer in Berührung kamen. Diese Wirkung beobachtet man selbst noch nach einigen Stunden, allein sie nimmt meistens schnell ab, und gewöhnlich beobachtet man 20 bis 30 Minuten nach dem Tode des Thieres nur noch sehr schwache Zuckungen der Muskeln.

Fig. 164.



Man kann den galvanischen Grundversuch sehr bequem mit Hülfe der Vorrichtung Fig. 165 (a. f. S.) anstellen. Ein Stück Kupferblech *b* ist durch einen Kupferdraht *c* mit dem Zinkblech *a* verbunden. Um nun stets metallische Verbindung zu erhalten, kann man den Kupferdraht an die beiden Bleche anlöthen. — Berührt man nun mit einem die-

ser Bleche die Schenkel, mit dem anderen die Nerven, so tritt alsbald eine Zuckung der Schenkel ein.

Fig. 165.



Indem Galvani genau die Umstände angab, unter welchen die Erscheinung erfolgt, hat er sie wohl von den unbestimmten convulsivischen Bewegungen unterschieden, welche man an Insecten, Reptilien und Fischen oft noch lange nach ihrer Verstümmelung beobachtet. Galvani, welcher sehr für die Idee eingenommen war, daß es eine besondere Nerven- oder Lebensflüssigkeit gebe, stand nicht an, von dem Phänomen eine Erklärung zu geben, welche mit seinen Lieblingstheorieen übereinstimmte. Die Zuckungen der Froschschenkel, sagte er, werden durch eine Flüssigkeit hervorgebracht, welche vermittelst einer äußeren Leitung von den Nerven zu den Muskeln überströmt; diese Flüssigkeit befindet sich in den Nerven, sie geht von diesen durch den metallischen Leitungsbogen auf die Muskeln über. Diese neue Flüssigkeit wurde die galvanische Flüssigkeit genannt, und man dachte sich die organischen Körper in Beziehung auf die Flüssigkeit ungefähr wie eine Leydner Flasche, deren Belegungen einerseits die Nerven, andererseits die Muskeln sind.

Der Lärm dieser Entdeckung verbreitete sich bald über Deutschland, Frankreich und England; überall beeilte man sich, die Versuche zu wiederholen und abzuändern; das Phänomen selbst erregte großes Erstaunen, aber die Hoffnung, in den organischen Körpern eine feine Flüssigkeit, ein Lebensprincip aufzufinden, steigerte die Neugierde der Gelehrten noch mehr. Außerdem erschienen diese Ideen gerade in einer Zeit großer Entdeckungen und Reformen, alle Geister waren in Bewegung und schienen durch den Reiz der Neuheit hingerissen.

Die ganze Richtung, in welcher man anfänglich die neue Entdeckung zu verfolgen suchte, drohte aber auf Irrwege zu führen, aus denen man vielleicht noch lange keinen Ausweg gefunden haben würde, wenn nicht bald ein Mann von klarem Geiste diesen unnützen Versuchen ein Ende gemacht hätte. Dieser Mann war Alexander Volta, welcher durch seine Untersuchungen über das Elektrophor und den Condensator schon eine gute Schule durchgemacht hatte. Volta, Professor zu Pavia, wiederholte Galvani's Versuche mit unermüdlicher Aufmerksamkeit und fand bald, daß ein zum Gelingen des Versuchs sehr wichtiger Umstand bis dahin ganz übersehen, oder doch nicht gehörig gewürdigt worden war. Um nämlich eine starke Wirkung zu haben, ist es durchaus nöthig, daß der Leitungsbogen, welcher die Nerven und Muskeln verbindet, aus zwei verschiedenen Metallen besteht, welche mit einander in Berührung sind.

Volta schloß aus seinen Versuchen, daß der Froschschenkel nicht wie eine Leydner Flasche zu betrachten sei; daß das hier wirkende Agens weder in den Nerven, noch in den Muskeln, sondern durch den Contact der beiden Metalle entwickelt werde und daß es mit dem gewöhnlichen elektrischen Fluidum vollkommen identisch sei. Volta's Ansichten wurden von Galvani und seinen Anhängern bekämpft, jede Partei suchte die Richtigkeit ihrer Theorie durch neue Versuche zu bekräftigen, endlich aber wurde Volta's Meinung allgemein als die richtige angenommen.

Der Volta'sche Fundamentalversuch. Die Idee, daß durch die 64
bloße Berührung heterogener Körper Elektricität entwickelt werde, fand nur nach und nach Glauben; die Strenge der Wissenschaft verlangte directe und entscheidende Beweise, welche Volta auch bald gab. Diesen directen Beweis führte er mit Hülfe eines Apparates, den er selbst erst einige Jahre früher erfunden hatte, nämlich mit Hülfe des Condensators, den wir schon oben (S. 139) kennen gelernt haben.

Fig. 166.



Der Versuch, welcher den Namen des Volta'schen Fundamentalversuchs führt, wird auf folgende Weise angestellt. Nachdem man sich überzeugt hat, daß der auf das Goldblattelektrometer, Fig. 166, geschraubte Condensator, dessen Platten aus Messing oder noch besser aus Kupfer verfertigt sind, seine Ladung gut hält und, nachdem man ihn wieder in seinen natürlichen Zustand versetzt hat, berührt man die obere Platte ableitend mit dem Finger, während man die untere Platte mit einem Stücke Zink berührt, welches dadurch, daß man es in der anderen Hand hält, auch mit dem Boden in leitender Verbindung steht. Es versteht sich von selbst, daß die Oberflächen der Condensatorplatten da, wo sie nicht mit einander in Berührung stehen, nicht gefirnißt sein dürfen, denn sonst wäre ja keine unmittelbare Berührung des Zinks mit dem Metall der Condensatorplatte möglich. Zieht man nun, nachdem die Berührung nur einen Augenblick gedauert hat, den Finger von der oberen, das Zink von der unteren Platte zurück, hebt man darauf die obere Condensatorplatte ab, so erhält man eine merkliche Divergenz der

Goldblättchen, und zwar divergiren sie mit negativer Elektricität, denn sie fallen zusammen, wenn man dem Elektrometer von oben eine geriebene Glasstange nähert.

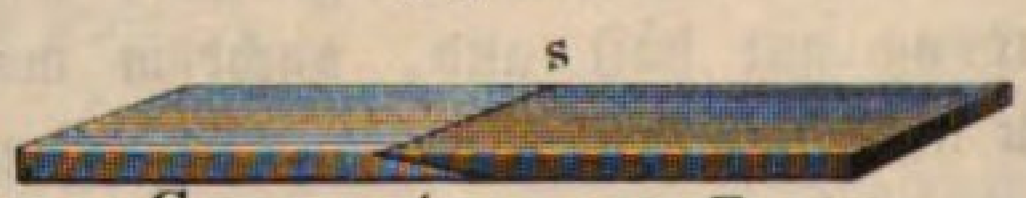
Woher kommt diese Elektricität? Sie kann offenbar nur durch die Berührung des Zinks und des Kupfers (oder Messings) entwickelt worden sein; hier ist es, wo eine besondere Kraft wirkt, um die elektrischen Fluida zu trennen und in Bewegung zu setzen; die positive Elektricität geht auf das Zink und von da in den Boden über, die negative hingegen geht auf die untere messingene oder kupferne Condensatorplatte über.

Wenn man den Versuch in der Weise wiederholt, daß man die obere Condensatorplatte mit dem Zink, die untere mit dem Finger berührt, so divergiren die Goldblättchen mit positiver Elektricität.

Wendet man statt des Zinks ein Stück desselben Metalls an, aus welchem die Condensatorplatten gemacht sind, so erhält man keine Wirkung; alle anderen Metalle aber bewirken eine Divergenz der Goldblättchen. Kupfer wird negativ elektrisch in Berührung mit Blei, Zinn und Eisen; positiv elektrisch aber in Berührung mit Silber, Gold und Platin.

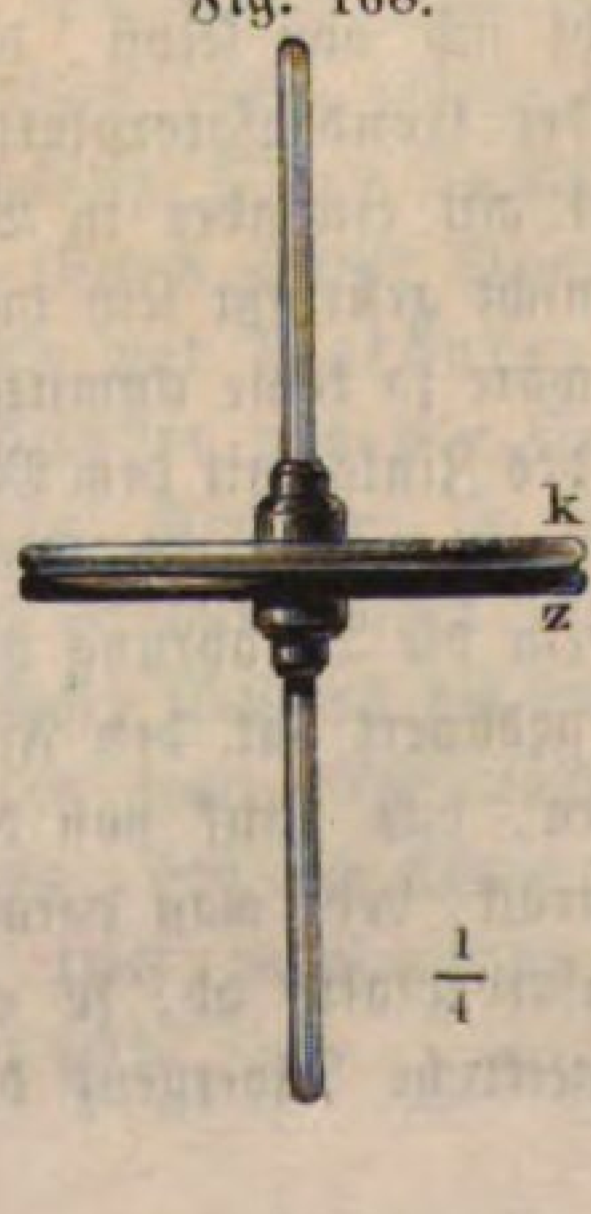
Die in diesem Versuch auftretende Elektricität rührt nicht etwa von einer Reibung oder einem Druck der Metalle im Augenblick der Berührung her, denn sie findet auch an der Berührungsstelle einer Zinkplatte *Z* und einer Kupferplatte *C*, Fig. 167, statt, welche bei *s t* zusammengelöthet sind. Nimmt man das Zink dieser Doppelplatte in die Hand, indem man mit dem Kupfer die untere Condensatorplatte berührt und zugleich die obere Condensatorplatte mit dem Boden in leitende Verbindung setzt, so erhält man denselben Ausschlag der Goldblättchen wie beim vorigen Versuche. An der Stelle, wo sich Zink und Kupfer berühren, ist also nach jahrelangem Contacte noch dieselbe Kraft thätig, wie im ersten Augenblicke der Berührung.

Fig. 167.



Der Fundamentalversuch kann auch noch in mannigfacher Weise abgeändert werden; am sichersten gelingt die folgende Form desselben. Eine Zinkplatte und eine Kupferplatte, welche gerade so geformt und mit einem wohl isolirenden Glasstiel versehen sind, wie die obere Platte eines Condensators, deren Oberflächen aber rein metallisch, also nicht gefirnißt sind, werden aufeinander gesetzt, wie Fig. 168 zeigt, indem man die eine, etwa die Zinkplatte mit der linken Hand ihren Stiel fassend, horizontal hält und dann mit der rechten Hand mit Vermeidung aller Reibung die Kupferplatte gerade auffsetzt, so daß nun die Kupferfläche mit der Zinkfläche in Berührung steht. Nun wird die Kupferplatte möglichst gerade abgehoben und mit der oberen Condensatorplatte eines Goldblattelektrometers in Berührung gebracht, während man gleichzeitig mit der Zinkplatte des Plattenpaares, Fig. 168, die untere Condensatorplatte be-

Fig. 168.



rührt. Wird dann, nachdem man diese Operation 10 bis 15mal wiederholt hat, die obere Platte des Condensators abgehoben, so erfolgt eine starke Divergenz der Goldblättchen.

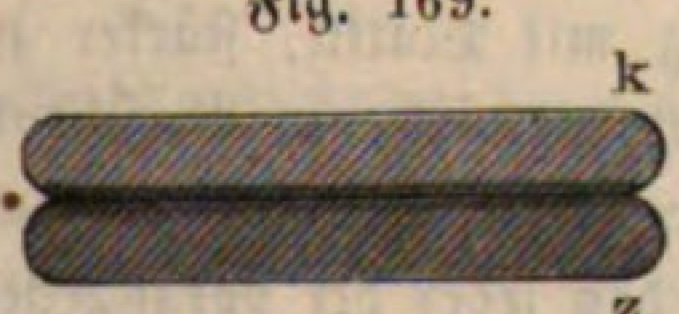
Wenn man ein empfindliches Goldblattelektrometer hat und die Zinkplatte sowohl wie die Kupferplatte wenigstens 3 Zoll Durchmesser haben, so kann man den Condensator ganz entbehren. Wird die eine der beiden Metallplatten, etwa die Zinkplatte, statt einer Condensatorplatte auf das Elektrometer aufgeschraubt, die Kupferplatte vorsichtig aufgesetzt und dann vertical abgehoben, so erfolgt eine schwache Divergenz der Goldblättchen, welche verstärkt wird, wenn man die abgehobene Kupferplatte entladet, abermals aufsetzt und abhebt. Wenn man diese Operation 8 bis 10mal wiederholt, so erhält man eine ziemlich bedeutende Divergenz der Goldblättchen.

Die elektromotorische Kraft. Die im vorigen Paragraphen beschriebenen Versuche zeigen uns, daß an der Berührungsfläche zweier verschiedener Metalle eine Kraft thätig ist, welche stets einen elektrischen Gegensatz zwischen denselben zu erzeugen und zu erhalten strebt und welche den Namen der **elektromotorischen Kraft** führt. 65

Der zuletzt angeführte Versuch beweist aber, daß der größte Theil der Elektricität, welche bei der Berührung einer Zinkplatte und einer Kupferplatte entwickelt wird, an den Berührungflächen gewissermaßen gebunden bleibt, denn wenn auf das Goldblattelektrometer eine Zinkplatte aufgeschraubt ist, so entsteht noch keine Divergenz, wenn man die Kupferplatte aufsetzt; die positive Elektricität, welche sich in Folge dieser Berührung frei über der Zinkplatte und die Goldblättchen verbreitet ist also sehr unbedeutend. Die Divergenz der Goldblättchen erfolgt erst beim Abheben der Kupferplatte, wenn sich die bis dahin an der oberen Gränzfläche der Zinkplatte angehäuft gewesene Elektricität frei über das ganze System verbreiten kann.

Die Vertheilung der Elektricität auf einem **isolirten** Zink-Kupfer Plattenpaar ist also ungefähr der Art, wie es Fig. 169 anschaulich machen soll, in welcher die dunklere Schraffirung an der Berührungsfläche die hier vorhandene größere elektrische Dichtigkeit darstellen soll.

Fig. 169.



Bezeichnen wir mit $+ e$ die Dichtigkeit der freien Elektricität, welche sich auf einer isolirten Zinkplatte verbreitet, wenn man sie mit einer gleich großen, ebenfalls isolirten, Kupferplatte berührt, so ist $- e$ die Dichtigkeit der entgegengesetzten Elektricität, welche sich über das Kupfer frei verbreitet. Wenn man die eine Platte, etwa die Zinkplatte, ableitend berührt, so wird alle freie Elektricität entweichen, die Dichtigkeit der auf der berührten Platte zurückbleibenden freien Elektricität ist also Null. Auf der Kupferplatte aber muß dadurch von Neuem gerade so viel negative Elektricität frei werden, als man positive Elektricität von dem Zink ableitete; die Dichtigkeit der freien Elektricität auf der Kupferplatte wird also $- 2 e$. Man kann allgemein sagen: Wenn eine der

beiden sich berührenden Metallplatten isolirt ist, die andere aber nicht, so ist die Dichtigkeit der freien Elektricität auf der isolirten Platte doppelt so groß, als sie sein würde, wenn auch die andere Platte isolirt geblieben wäre.

Mögen nun die beiden sich berührenden heterogenen Platten isolirt sein oder nur eine derselben, so bleibt doch die Differenz der elektrischen Spannungen auf beiden dieselbe. Wenn die eine Platte ableitend berührt ist, so ist die Spannung auf ihr 0, auf der anderen $2e$, die Differenz dieser beiden Spannungen ist also auch $2e$. Wenn beide isolirt sind, so ist die Tension auf der einen $+e$, auf der anderen $-e$, und die Differenz dieser beiden Tensionen ist abermals $2e$. Ja selbst, wenn man von irgend einer anderen Elektricitätsquelle her Elektricität auf das Plattenpaar leitet, bleibt diese Differenz unverändert dieselbe, indem sich die neu zugeführte Elektricität frei über das ganze System verbreitet. Gesetzt, man leite auf das isolirte Plattenpaar so viel positive Elektricität, daß sie, frei über dasselbe verbreitet, eine Dichtigkeit $10e$ habe, so wird sich diese Elektricität mit der schon durch die elektromotorische Kraft auf beiden Platten erzeugten vereinigen. Die Dichtigkeit der freien positiven Elektricität, welche durch die elektromotorische Kraft auf der Zinkplatte verbreitet wird, ist $+e$, was mit jenen zugeleiteten $10e$ zusammen $+11e$ macht. Auf der Kupferplatte ist aber durch die Wirkung der elektromotorischen Kraft negative Elektricität von der Dichtigkeit $-e$ verbreitet; diese negative Elektricität neutralisirt eine gleiche Quantität der zugeleiteten positiven Elektricität; von den zugeleiteten $+10e$ bleiben also $+9e$ übrig. Die Tension auf der Zinkplatte ist also $+11e$, auf der Kupferplatte $+9e$, also die Differenz $+2e$. Dasselbe Resultat stellt sich heraus, welches auch die Natur und die Quantität der dem Plattenpaare zugeleiteten Elektricität sein mag. **Die elektrische Differenz beider Platten bleibt unverändert.**

66 **Die Spannungsreihe.** Die elektrischen Spannungen, welche durch die elektromotorische Kraft entwickelt und auf die sich berührenden Körper verbreitet werden, sind nicht für alle Stoffe gleich. Die Metalle sind gute **Elektromotoren**, man beobachtet jedoch in dieser Hinsicht einen großen Unterschied unter denselben. So wird z. B. Zink, in Berührung mit Platin, stärker positiv elektrisch als in Berührung mit Kupfer; das Kupfer wird, in Berührung mit Zink, negativ, in Berührung mit Platin, positiv elektrisch. Die folgende Tabelle enthält eine Reihe von Körpern, so geordnet, daß jeder der vorangehenden, in Berührung mit allen folgenden, positiv elektrisch wird.

+	
Zink	Silber
Zinn	Gold
Eisen	Platin
Blei	Kohle.
Kupfer	—

Diese Reihe führt den Namen der **Spannungsreihe** und die in ihr enthaltenen Körper haben die merkwürdige Eigenschaft, daß, wie man auch drei

derselben aus der Reihe herausgreifen mag, die elektrische Differenz des ersten und letzten gleich ist der elektrischen Differenz des ersten und zweiten + der elektrischen Differenz des zweiten und dritten.

Bezeichnen wir z. B. mit

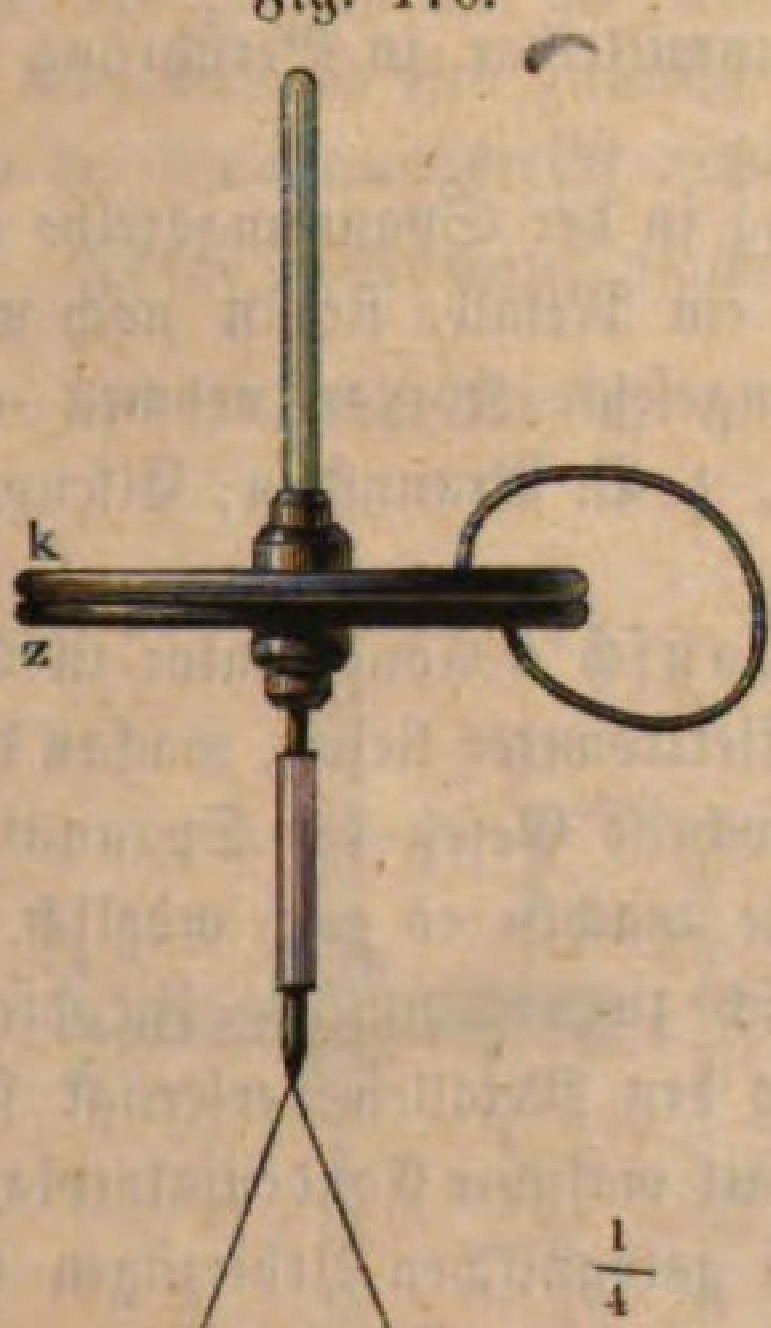
ZK die elektrische Differenz zwischen Zink und Kupfer
ZP » » » » Zink und Platin
KP » » » » Kupfer und Platin,

so ist

$$ZP = ZK + KP.$$

Die Richtigkeit dieser Behauptung ergiebt sich aus einer Abänderung der zuerst beschriebenen Form des Volta'schen Fundamentalversuchs. Ist nämlich die eine Condensatorplatte von Kupfer, die andere von Zink verfertigt, so kann man diesen Condensator auch dadurch laden, daß man die Zinkplatte mit der Kupferplatte durch einen Kupferdraht verbindet, wie dies Fig. 170 erläutert.

Fig. 170.



Die elektromotorische Thätigkeit tritt hier offenbar nun an der Stelle auf, wo der Kupferdraht die Zinkplatte berührt, und die Stärke der Ladung des Condensators hängt also ab von der elektrischen Differenz ZK. — Ersetzt man aber den Kupferdraht durch irgend einen anderen Metalldraht, so erhält man doch stets dieselbe Ladung des Condensators, also nach Abheben der oberen Platte dieselbe Divergenz der Goldblättchen, als ob man zur Verbindung der beiden Platten einen Kupferdraht gewählt hätte.

Wäre z. B. der Verbindungsdraht von Eisen gewesen, so würde die Zinkplatte durch die Berührung mit dem Eisendraht eine der elektrischen Differenz ZE proportionale Ladung erhalten haben. Der Eisendraht selbst wird aber durch seine Berührung mit der Kupferplatte positiv elektrisch erregt, und dadurch wird die elektrische Ladung der Zinkplatte noch um KE erhöht, so daß die Gesammtladung der Zinkplatte $ZE + EK$ ist. Der Versuch zeigt uns aber, daß in diesem Falle die Ladung eben so stark ist, als ob man einen Kupferdraht zur Verbindung der beiden Platten angewandt hätte; wir haben also

$$ZE + EK = ZK.$$

Hätte man statt des Kupferdrahtes einen Platindraht angewendet, so würde die Zinkplatte eine positive Ladung ZP angenommen haben, wenn nur an der Berührungsstelle zwischen Zink und Platin eine elektromotorische Kraft thätig wäre. Das Platin wird durch das Kupfer positiv erregt, die Ladung der Zinkplatte kann also offenbar nur $ZP - KP$ sein. Aber auch hier erhält man wieder denselben Ausschlag, als ob der Verbindungsdraht von Kupfer gewesen wäre, mithin ist

$$ZP - KP = ZK$$

und daraus

$$ZK + KP = ZP.$$

Die elektrische Differenz zwischen Zink und Platin ist die Summe der elektrischen Differenzen zwischen Zink und Kupfer, Kupfer und Platin.

Aus unseren Versuchen folgt auch ferner, daß, wenn man drei Metalle aufeinander schichtet, die elektrische Spannung der Endplatten stets dieselbe ist, als ob sich diese Endplatten unmittelbar berührten und alle Zwischenplatten fehlten. Wenn also bei dem letzten Versuch die beiden Endplatten aus demselben Metalle bestehen, so wird ihre elektrische Ladung Null sein; wenn die beiden Condensatorplatten aus demselben Metalle gemacht sind, so erhält man keine Divergenz, welches Metall man auch zum Verbindungsbogen anwenden mag.

Auch wenn man vier, fünf oder noch mehr verschiedene Metalle in beliebiger Ordnung auf einander folgen läßt, ist die Spannung der freien Elektricität auf den Endgliedern stets dieselbe, als ob sie unmittelbar in Berührung mit einander wären.

Alle Metalle nehmen eine bestimmte Stellung in der Spannungsreihe ein; die Kohle verhält sich in dieser Hinsicht ganz wie ein Metall, sie ist noch mehr elektronegativ als Platin. Auch viele zusammengesetzte Körper nehmen eine bestimmte Stellung in der Spannungsreihe ein, z. B. Braunstein, Eisenoxyd, Schwefeleisen, Schwefelblei u. s. w.

Die Sicherheit der Resultate, welche Kohlrausch's Condensator in Verbindung mit dem verbesserten Dellmann'schen Elektrometer liefert, machen diese Instrumente nicht allein geeignet, das eben besprochene Gesetz der Spannungsreihe aufs vollständigste zu bestätigen, sondern sie machen es auch möglich, die elektrische Differenz verschiedener Metalle numerisch zu bestimmen. Zu diesem Zwecke müssen die beiden Condensatorplatten aus den Metallen verfertigt sein, deren elektrische Differenz ermittelt werden soll; statt massiver Condensatorplatten edler Metalle kann man aber auch kupferne mit galvanischen Ueberzügen versehene anwenden, also versilberte, vergoldete und mit Platin überzogene Kupferplatten.

Setzt man die elektrische Differenz zwischen Kupfer und Zink gleich 100, so ist

die elektrische Differenz zwischen	Zink und Eisen	75
» » » »	Zink und Silber	109
» » » »	Zink und Gold	115
» » » »	Zink und Platin	123.

Eine frisch gereinigte Zinkplatte ist positiv elektrisch gegen eine solche, welche mehrere Tage an der Luft gelegen hat. Für genaue Versuche müssen also die Condensatorplatten unmittelbar vor dem Gebrauche frisch gereinigt werden (Pogg. Annal. Bd. LXXXII und LXXXVIII).

67 **Elektromotorisches Verhalten der Flüssigkeiten.** Alle Flüssigkeiten, welche überhaupt Leiter der Elektricität sind, wirken auch elektromotorisch, wenn

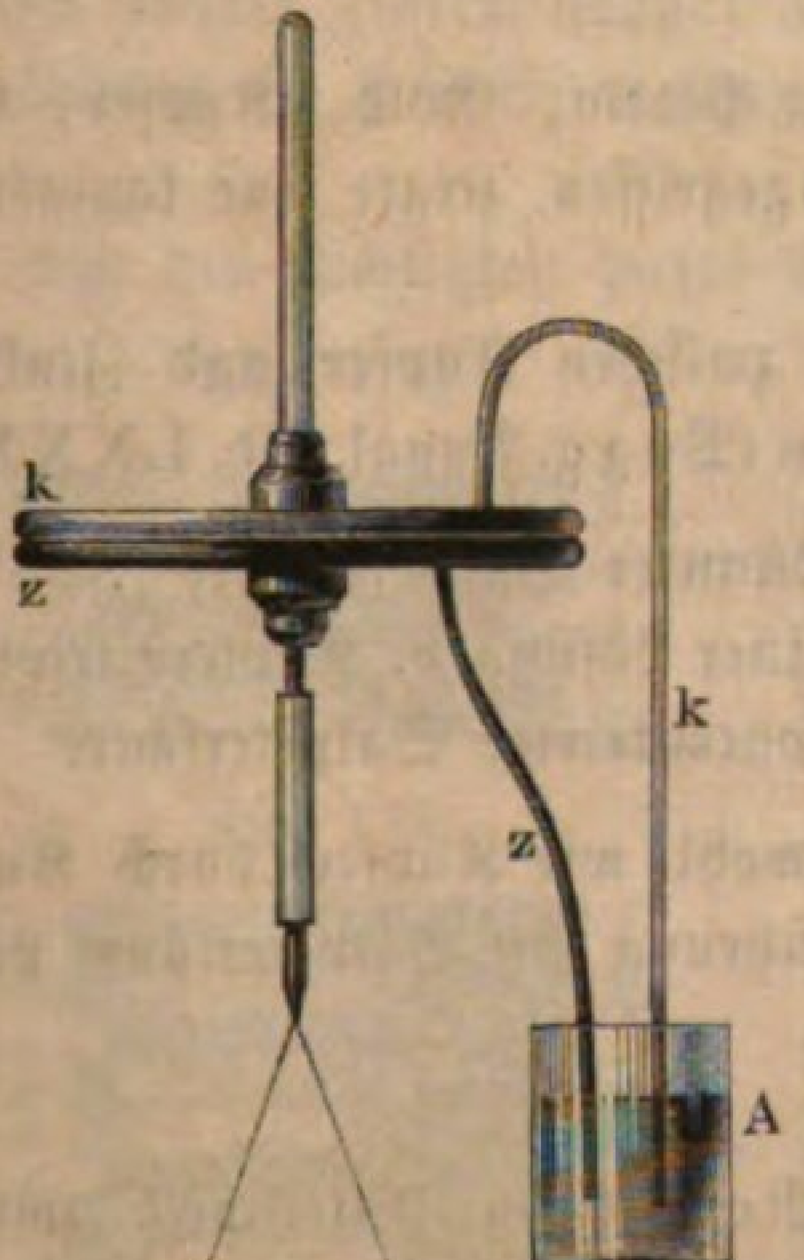
sie mit Metallen in Berührung gebracht werden, allein sie folgen dem Gesetze der Spannungsreihe nicht, das Quecksilber ausgenommen, welches sich wie die übrigen Metalle verhält.

Schon Volta unterschied das elektromotorische Verhalten der Metalle, welche er Leiter erster Ordnung nannte, von dem der Flüssigkeiten (Leiter der zweiten Ordnung), obgleich die volle Bedeutung dieses Unterschiedes erst später erkannt wurde.

Wenn auf das Goldblattelektrometer eine Condensatorplatte von Kupfer aufgeschraubt ist und auf diese eine ebenfalls kupferne Condensatorplatte aufgesetzt wird, so nimmt, wie wir gesehen haben, der Condensator gar keine Ladung an, wenn man die beiden Condensatorplatten durch Körper in leitende Verbindung bringt, welche der Spannungsreihe angehören, wenn man also z. B. die untere Platte durch einen Zinkdraht *z*, die andere durch einen Kupferdraht *k* mit dem Quecksilber des Glasgefäßes *A*, Fig. 171, in Verbindung setzt. Wenn aber das Quecksilber des Gefäßes *A* durch Wasser ersetzt wird, so nimmt auch der Condensator eine ziemlich starke Ladung an, das Wasser folgt also dem Gesetze der Spannungsreihe nicht.

Ist die untere Condensatorplatte, Fig. 171, von Zink und durch einen Zinkdraht mit dem Wasser in *A* verbunden, während von der oberen kupfernen Condensatorplatte ein Kupferdraht ins Wasser führt, so nimmt die Zinkplatte eine negative Ladung an, während sie positiv geladen worden wäre, wenn die leitende Verbindung der beiden Condensatorplatten nur durch metallische Leiter bewerkstelligt worden wäre.

Fig. 171.



Aehnlich wie Wasser verhalten sich in diesem Versuche auch verdünnte Schwefelsäure, Salzlösungen u. s. w.

Um das elektromotorische Verhalten der Flüssigkeiten näher zu untersuchen, construirte Buff einen Condensator in folgender Weise: auf das Elektrometer wurde eine (nicht gefirnißte) Metallplatte aufgeschraubt, auf diese eine möglichst dünne Glasplatte aufgelegt, deren Durchmesser etwas größer war als der der Metallplatte, und auf diese Glasplatte eine Papierscheibe, welche mit der zu untersuchenden Flüssigkeit getränkt wurde. Auf diese Weise bildete die Flüssigkeit gleichsam die obere Condensatorplatte, welche mit der unteren Condensatorplatte durch einen Draht in Verbindung gesetzt wurde, welcher aus demselben Metalle bestand wie die untere Platte selbst.

Ist die Condensatorplatte von Zink, die Flüssigkeit reines Wasser, der Verbindungsdraht ebenfalls Zink, so wird der Condensator negativ geladen.

Wenn die untere Condensatorplatte und der Verbindungsdraht Platin sind und auf der Glasplatte ebenfalls reines Wasser ausgebreitet ist, so erhält das Platin ebenfalls eine negative Ladung, aber schwächer als die des Zinks durch Wasser.

Um die Wirkung von Wasser auf Platin mit der von Zink auf Platin zu vergleichen, wurde auf die Glasplatte statt des Wassers eine Zinkplatte aufgesetzt und die Verbindung des Zinks mit dem Platin durch einen Platinstreifen bewerkstelligt. Der Ausschlag war weit stärker. Platin wird also durch Zink weit stärker negativ erregt als durch Wasser.

Vergleicht man aber den Ausschlag, den unter diesen Umständen Zink und Platin giebt, mit dem, welchen Zink und Wasser geben, so findet man, daß der letztere bedeutender ist. Hieraus folgt, daß die absolute Größe der negativen Erregung des Zinks durch Wasser bedeutender ist als die Größe seiner positiven Erregung durch Platin.

Zink, mit reinem Wasser durch einen Platin- oder Kupferdraht in leitende Verbindung gesetzt, wurde positiv geladen, die positive Erregung des Zinks durch diese Metalle ist also größer, als die negative Erregung derselben durch Wasser.

Verdünnte Schwefelsäure erregt Zink, Eisen, Kupfer in abnehmenden Graden negativ, Gold und Platin aber positiv. Aehnlich verhält sich verdünnte Salpetersäure.

Von concentrirter Salpetersäure wurden Platin, Gold, Kupfer, Eisen positiv erregt, nur das Zink, obgleich heftig angegriffen, zeigte eine kaum merklich negative Ladung.

Bezeichnet man die elektrische Differenz zwischen Kupfer und Zink mit 100, so ist, nach Kohlrausch's Untersuchungen (Pogg. Annal. Bd. LXXXII),

die elektrische Differenz zwischen				Zink u. verdünnter Schwefelsäure . .	149
»	»	»	»	Kupfer u. einer Lösung v. Kupfervitriol	21
»	»	»	»	Platin u. concentrirter Salpetersäure	149

und zwar wird Zink durch Schwefelsäure sowohl wie Kupfer durch Kupfervitriol negativ erregt, während Platin in Berührung mit Salpetersäure positiv erregt wird.

68 **Die Volta'sche Säule.** Nachdem Volta den Unterschied zwischen Leitern erster und zweiter Ordnung erkannt hatte, folgerte er ganz richtig, daß man durch eine zweckmäßige Aufeinanderfolge von Metallplatten und feuchten Leitern weit bedeutendere elektrische Spannungen würde erzielen können, als die sind, welche einzelne Plattenpaare geben, und gelangte so zur Construction der nach ihm genannten Volta'schen Säule.

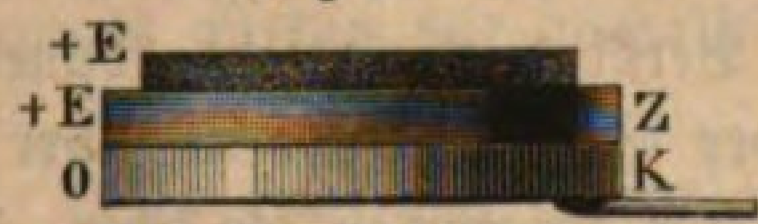
Wir haben bereits im §. 65 gesehen, daß, wenn eine Zinkplatte auf eine Kupferplatte gelegt und die Kupferplatte ableitend berührt wird, sich alsdann über die Zinkplatte freie positive Elektricität von der Dichtigkeit 2 e verbreitet, wie dies Fig. 172 versinnlichen soll, wo nur E statt 2 e gesetzt ist.

Wird nun auf die Zinkplatte eine feuchte Scheibe, etwa eine mit verdünnter Schwefelsäure oder mit Salzwasser getränkte Tuchscheibe gelegt, Fig. 173, so wird, wenn wir vor der Hand von der elektromotorischen Wirkung zwischen Zink und Flüssigkeit absehen, die positive Elektricität von der Zinkplatte zur Flüssigkeit übergehen, bis sie hier die Dichtigkeit $+E$ erreicht hat, während der elektrische Verlust, welchen dabei die Zinkplatte erleidet, sogleich wieder durch die zwischen Zink und Kupfer thätige elektromotorische Kraft ersetzt wird.

Fig. 172.



Fig. 173.



Die positive Ladung der feuchten Scheibe wird sich über ein zweites Plattenpaar von Kupfer und Zink verbreiten, welches, das Kupfer zu unterst, auf die feuchte Scheibe gelegt wird, Fig. 174, so daß, wenn in dem oberen Plattenpaare gar keine elektromotorische Kraft thätig wäre, sich doch die Ladung $+ E$ über dieselbe verbreiten würde. Zu dieser Ladung kommt aber für die obere Zinkplatte in Folge ihrer Berührung mit Kupfer nochmals die Ladung $+E$ hinzu, so daß die Spannung der freien Elektricität auf der oberen Zinkplatte $+ 2E$ sein wird.

Auf dieselbe Weise kann man fortschließen, daß, wenn man auf die obere Zinkplatte der Combination, Fig. 174, wieder eine feuchte Scheibe und auf diese ein drittes Zinkkupferpaar auflegt (die Kupferplatte zu unterst, Fig. 175), daß alsdann die freie Spannung auf der obersten Zinkplatte $+ 3E$ sein muß u. s. w.

Von der Richtigkeit dieser Schlußweise kann man sich überzeugen, wenn man einen, mit einem Elektrometer verbundenen Condensator der Reihe nach mit den Combinationen Fig. 172, Fig. 174 und Fig. 175 ladet; ja man findet die Ladung des Condensators für die Combination, Fig. 174, mehr als zweimal, für die Combination, Fig. 175, mehr als dreimal größer als für das einfache Plattenpaar, Fig. 172, weil eine elektromotorische Wirkung auch noch zwischen den Metallen und der Flüssigkeit stattfindet und zwar in der Art, daß die positive Erregung der Flüssigkeit durch das Zink stärker ist, als die negative Erregung des Kupfers durch die Flüssigkeit.

Fig. 174.

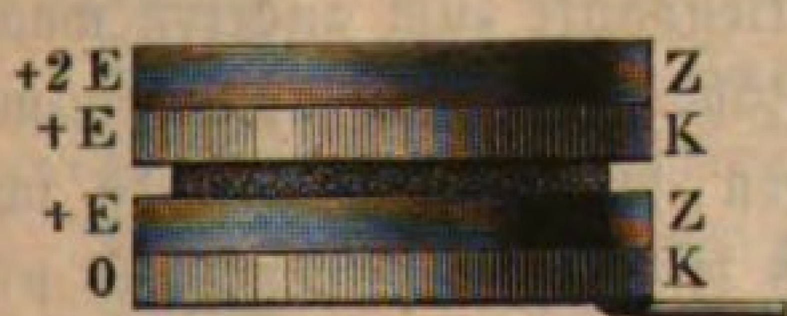
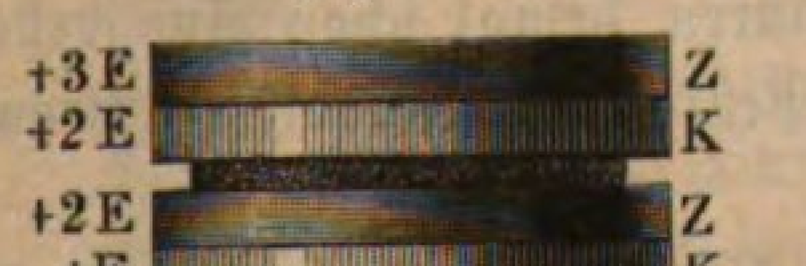


Fig. 175.



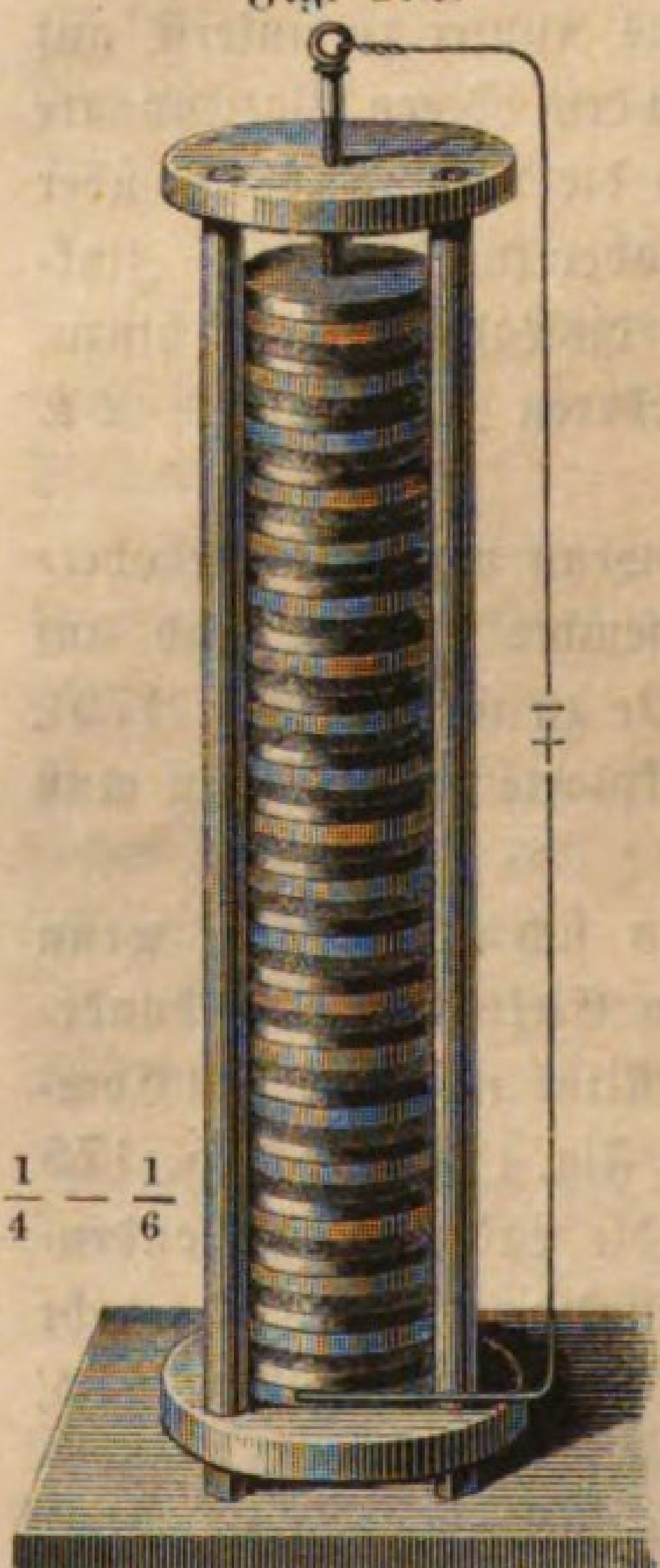
Baut man die Säule in umgekehrter Ordnung auf, d. h. so, daß in jedem Plattenpaare die Zinkplatte zu unterst liegt und die unterste Zinkplatte zum Boden abgeleitet ist, so findet man am oberen Ende eine Ladung freier negativer Elektricität.

Um in der angegebenen Weise eine größere Anzahl von Plattenpaaren übereinanderschichten zu können, wird die Säule innerhalb dreier Glasstäbe aufgebaut, die in einem Fußgestell von Holz eingekittet sind, wie dies Fig. 176

dargestellt ist; das eine Ende der Säule wird der positive, das andere Ende wird der negative Pol genannt. Um eine innige Berührung zwischen Kupfer und Zink zu erhalten, sind die beiden Platten eines jeden Paares zusammengelöthet.

Nehmen wir an, man habe eine Säule von 50 Paaren aufgebaut und den negativen Pol mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt; daneben eine zweite, der ersten ganz gleiche, deren positiver Pol ableitend berührt ist. Nun setze man die beiden Säulen zu einer einzigen zusammen, so aber, daß mit Einschaltung einer feuchten Scheibe die beiden ableitend berührten Pole (also der + Pol der einen und der — Pol der anderen) an einander stoßen, so hat man eine einzige Säule von 100 Paaren, deren Hälften sich noch ganz in dem Zustande befinden wie vorher: die Mitte befindet sich also im natürlichen Zustande, selbst wenn man die leitende Verbindung mit dem Boden aufgehoben hat. Die eine Hälfte ist positiv, die andere negativ geladen, und zwar wächst die Stärke der Ladung von der Mitte nach den Polen hin. Die elektrische Spannung an jedem Pole ist gerade so groß, wie am isolirten Pol einer Säule von 50 Paaren, deren anderer Pol ableitend berührt ist. In jeder ganz isolirten Säule stellt sich von selbst das elektrische Gleichgewicht in der Weise her, daß die Mitte im natürlichen Zustande ist und die beiden Hälften mit den entgegengesetzten Elektricitäten geladen sind, deren Dichtigkeit nach den Polen hin von einem Plattenpaare zum anderen wächst.

Fig. 176.



Mit wachsender Zahl der Plattenpaare nimmt die Spannung an den Polen der Volta'schen Säule bald so zu, daß man des Condensators nicht mehr bedarf, um sie nachzuweisen. Eine Säule von 60 bis 100 Plattenpaaren bringt schon eine bedeutende Divergenz der Pendel im Goldblattelektrometer hervor.

Bringt man den einen Pol einer isolirten Säule mit der inneren, den anderen mit der äußeren Belegung einer sehr dünnglasigen Leydner Flasche in Berührung, so wird dieselbe geladen, und zwar bei Anwendung einer Säule von 1000 bis 2000 Paaren, die freilich anders arrangirt sein muß, als die Fig. 176 dargestellte, stark genug, um einen fühlbaren Schlag zu geben. Noch vortheilhafter zu derartigen Versuchen ist eine Batterie von belegten Glimmerplatten, wie sie in §. 52 beschrieben wurde.

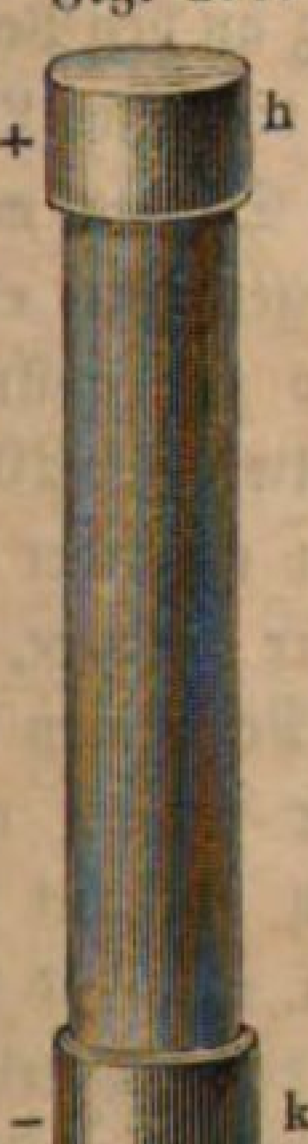
Diese Versuche beweisen die gleiche Natur der Elektricität, welche die Elektrisirmaschine liefert, mit der durch die Volta'sche Säule erzeugten.

Bringt man die beiden Pole einer Volta'schen Säule auf irgend eine Weise, etwa durch einen Metalldraht, in leitende Verbindung, so werden durch

diesen Schließungsbogen die entgegengesetzten Elektricitäten zu einander übergehen. In dem Maße aber, als die Elektricität von den Polen weggenommen wird, wird durch die Thätigkeit der Säule neue Elektricität geliefert, und somit wird der Schließungsbogen continuirlich in entgegengesetzter Richtung von den entgegengesetzten Elektricitäten durchströmt. Die Wirkungen dieses Stromes werden wir alsbald näher kennen lernen.

Die trockene Säule. Ganz nach dem Principe der Volta'schen hat 69
Zamboni eine Säule construirt, in welcher der feuchte Leiter durch eine Papierscheibe ersetzt ist, und welche deshalb die trockene Säule genannt wird. Man construirt die trockenen Säulen am bequemsten aus unächtem Gold- und Silberpapier: man klebt mit Kleister einen Bogen unächten Silberpapiers (Zinn) und einen Bogen unächten Goldpapiers (Kupfer) mit den Papierseiten zusammen, so daß man ein Papierblatt hat, welches auf der einen Seite mit Kupfer, auf der anderen mit Zinn überzogen ist. Mehrere solcher Blätter werden nun auf einander gelegt und mittelst eines stählernen Durchschlags Scheibchen ausgeschlagen. Diese Scheibchen haben $1/2$ bis 1 Centimeter Durchmesser, wenn man kleinere, 2 bis 4 Centimeter, wenn man größere Säulen machen will. Diese Scheibchen werden nun in eine wohl isolirende Glasröhre, an welche einerseits bereits eine messingene Kapsel angekittet ist, so geschichtet, daß dasselbe Metall stets nach derselben Seite gekehrt ist. Die obere Hülse *h*, Fig. 177, wird erst aufgekittet, wenn das ganze Röhrchen gefüllt ist. Man muß dafür sorgen, daß die Scheibchen nicht zu lose auf einander liegen, sondern, daß sie durch Aufsetzen der zweiten Kapsel möglichst stark zusammengepreßt werden. Die beiden Messingkapseln bilden die beiden Pole der Säule.

Fig. 177.



$\frac{1}{1} - \frac{1}{2}$

Zamboni hat sehr wirksame trockene Säulen auch in der Weise construirt, daß er auf der unbelegten Seite eines Bogens von unächtem Silberpapier fein gepulverten Braunstein (Manganhyperoxyd) mittelst eines Korkstopfens einrieb. Aus solchen Blättern wurden dann die Scheiben ausgeschlagen, welche zum Aufbau der Säule dienen sollten.

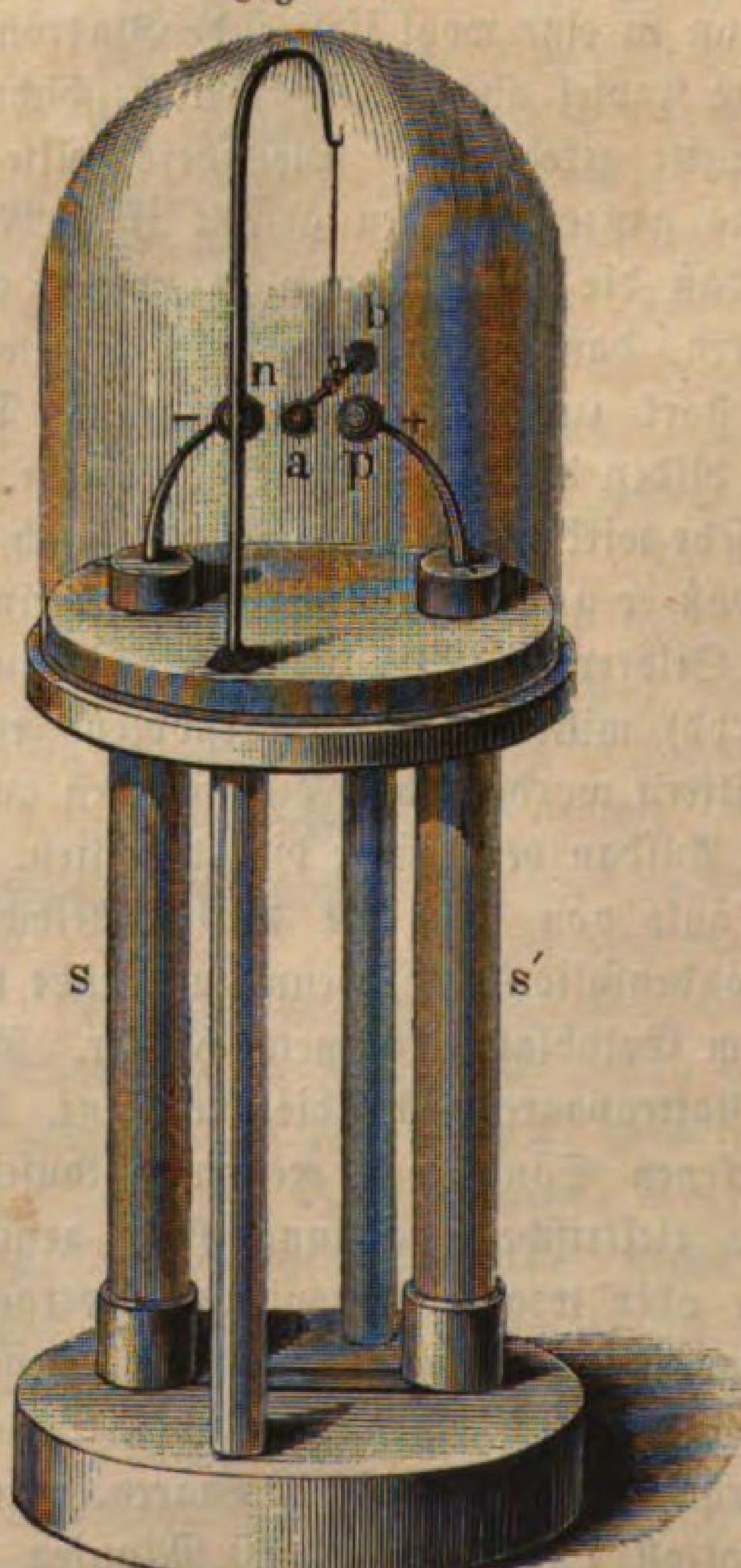
Eine trockene Säule von 100 bis 200 Scheibchen bringt bereits ohne Condensation eine, wenn auch nicht bedeutende, Divergenz am Goldblattelektrometer hervor. Mit wachsender Zahl der Plattenpaare wächst die Divergenz. An den Polen einer trockenen Säule von mehreren tausend Plattenpaaren ist die elektrische Spannung stark genug, um am Strohhalmelektrometer eine mehr oder weniger bedeutende Divergenz hervorzubringen und eine sehr dünnglasige Leydner Flasche oder, noch besser, einen Glimmercondensator stark genug zu laden, um einen merklichen Schlag zu geben. Singer construirte eine trockene Säule von 20000 Paaren, welche eine dünnglasige Flasche von 50 Quadratzoll Oberfläche in 10 Minuten so stark lud, daß der Entladungsschlag einen Platindraht von 1 Zoll Länge und

$^1/_{5000}$ Zoll Durchmesser schmolz, oder einen Schlag gab, welcher bis in die Achseln fühlbar war.

Die kräftigsten trockenen Säulen, selbst eine von 20000 Paaren, bringen noch keine chemische Wirkung hervor, wozu, wie wir bald sehen werden, schon eine Volta'sche Säule von wenigen Plattenpaaren ausreicht. Ueberhaupt giebt die trockene Säule zwar bedeutende Spannungserscheinungen, aber die Stromeffecte fehlen ihr. Daß diese Erscheinungen bei der Zamboni'schen Säule fehlen, hat besonders in der unvollkommenen Leitungsfähigkeit des Papiers seinen Grund. Die elektrischen Flüssigkeiten können nur langsam die Säule bis zu den Polen durchwandern, und in Folge dieser Langsamkeit tritt ein Gleichgewichtszustand ein, den wir sogleich näher untersuchen wollen.

Wenn beide Pole der Säule isolirt sind, so häufen sich die entgegengesetzten Elektricitäten bald in gleichem Maße an den Polen an; die Spannung wächst hier, bis die Elektricitätsmenge, welche jeder Pol durch die Luft in einem gegebenen Zeittheilchen verliert, gleich derjenigen Menge ist, welche in derselben Zeit dem Pole durch die Säule wieder zugeführt wird. Von diesem Augenblicke an bleibt die Spannung an den Polen constant. Wird nun die Luft feuchter, so beträgt der elektrische Verlust an den Polen einen größeren Bruchtheil der gesammten daselbst angehäuften Elektricität, während doch die Menge der dem Pole zugeführten Elektricität dieselbe bleibt; daraus ergiebt sich dann, daß in feuchter Luft die Spannung an den Polen geringer sein muß als in trockener Luft.

Fig. 178.



$\frac{1}{3} - \frac{1}{4}$

Die Zamboni'schen Säulen wendet man an, um das sogenannte elektrische perpetuum mobile zu construiren. Zwei Säulen, jede etwa von 2000 Paaren, werden so neben einander gestellt, daß bei der einen der positive, bei der anderen der negative Pol unten ist; diese beiden unteren Pole werden nun durch einen Metallstreifen in gut leitende Verbindung gebracht, während das Ganze isolirt bleibt, und dadurch erhält man ein System, welches in der That einer einzigen Säule von 4000 Paaren gleich ist, nur sind die beiden Pole dieser Säule nach oben gekehrt. Denken wir uns nun in die Mitte zwischen diese beiden oberen Pole ein ganz leichtes metallisches Pendel leicht beweglich und isolirt aufgehängt, so wird es von

beiden Polen gleich stark angezogen, es bleibt also in Ruhe. Wird aber dieses Gleichgewicht gestört, so beginnt alsbald eine fortdauernde Bewegung. — Kommt z. B. das Pendel mit dem positiven Pole in Berührung, so wird es mit + E geladen, vom + Pole abgestoßen und vom — Pole angezogen; am letzteren Pole angekommen, giebt es an diesen seine positive Ladung ab, nimmt dagegen — E auf und wird nun wieder nach dem + Pole getrieben u. s. w. Ein Apparat der Art kann Jahre lang im Gange bleiben.

Fig. 178 stellt einen derartigen Apparat dar. *s* und *s'* sind die beiden Säulen. Die Messingkugeln *n* und *p* bilden ihre Pole. Das Pendel *ab* ist an einem einfachen Seidenfaden aufgehängt. Es ist durch ein isolirendes Stäbchen gebildet, welches einerseits das hohle Messingkügelchen *a* trägt, das zwischen *p* und *n* hin- und hergeht, andererseits aber die Kugel *b*, welche nur dazu dient, der Kugel *a* das Gleichgewicht zu halten. Um den Luftzug abzuhalten, ist der obere Theil des Apparates mit einer Glasglocke zugedeckt.

Das Säulenelektrometer. Zu den wichtigsten und sinnreichsten Anwendungen, die man von der trockenen Säule gemacht hat, gehört unstreitig das Säulenelektrometer, welches in vielen Fällen, wo es sich um Nachweisung geringer elektrischer Spannungen handelt, wie z. B. beim Volta'schen Fundamentalversuche, ausgezeichnete Dienste leistet. Fig. 179 stellt das Säu- 70

Fig. 179.



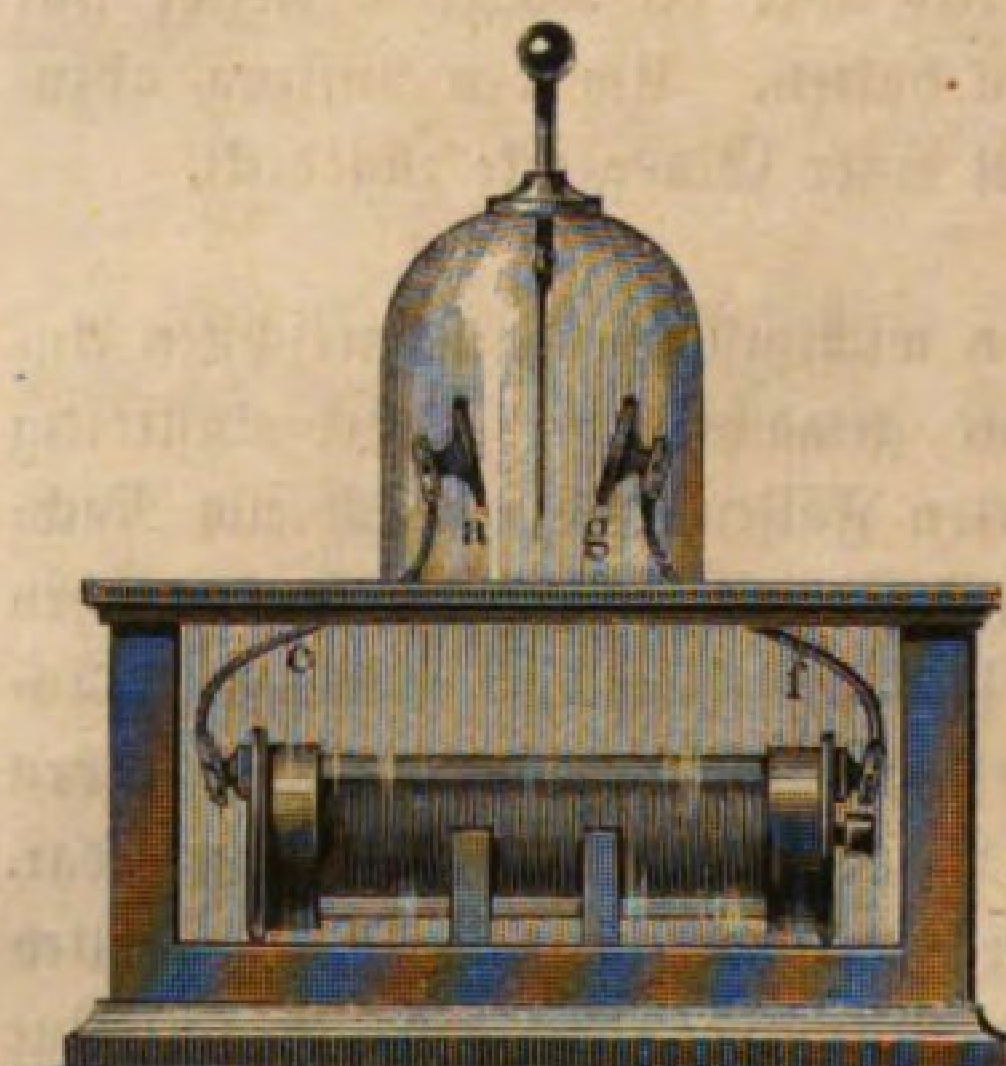
leneelektrometer in seiner ursprünglichen von Bennet herrührenden Form dar. Innerhalb eines $1^1/_2$ bis 2 Zoll weiten Glasrohres befinden sich zwei kleine Zamboni'sche Säulen; sie sind auf dem hölzernen Fuße befestigt, in welchen der Glascylinder eingelassen ist, und ihre unteren Enden sind durch einen Metalldraht in leitende Verbindung gebracht. Die oberen Enden der beiden Säulen, von welchen das eine ein positiver, das andere ein negativer Pol ist, sind mit kleinen Polplatten versehen. Durch den Deckel des Glascylinders geht, gehörig isolirt, ein Metalldraht herab, auf welchen oben eine Metallkugel oder eine Condensatorplatte aufgeschraubt werden kann, und an dessen unterem Ende ein einfacher Streifen von Blattgold angeklebt ist; das untere Ende desselben hängt gerade in der Mitte zwischen den Polplatten der beiden Säulen. Es ist nun klar, daß das Goldblättchen, wenn ihm auch nur die geringste elektrische Ladung mitgetheilt wird, nach der einen oder der anderen

Seite ausschlagen muß, je nachdem die Ladung eine positive oder eine negative ist.

Bohnenberger änderte diesen Apparat in der Weise ab, daß er den Deckel des Glascylinders von Metall machte und an diesen die beiden Säulen anschraubte, so daß sie von oben in das Glasgefäß hinabragen und das untere Ende des Goldblättchens in der Mitte zwischen den unteren Polen der beiden Säulen hängt.

Statt zweier verticalen Säulen wandte Becquerel zuerst eine horizontale mit verticalen Polplatten an, zwischen welche das Goldblättchen herabhängt. Fechner hat diesen Apparat noch sehr verbessert und ihm die Fig. 180 dargestellte Einrichtung gegeben, durch welche er höchst empfindlich und ein für die leichte und sichere Anstellung der Volta'schen Fundamentalversuche sehr werthvolles Instrument wurde.

Fig. 180.



$\frac{1}{6}$

In dem Kasten, Fig. 180, befindet sich in horizontaler Lage eine Zamboni'sche Säule von 800 bis 1000 ungefähr thalergroßen Plattenpaaren, welche in einer Glasröhre luftdicht eingeschlossen sind, die an ihren Enden mit metallenen Kappen verschlossen ist. Diese Kappen stehen mit den Polen der Säule in leitender Verbindung, und von ihnen gehen die Metalldrähte *c* und *f* aus, welche, durch einen Spalt im Deckel des Kastens hindurchgehend, mit den Polplatten *a* und *g* endigen. Ueber diese ist nun eine Glasglocke gestülpt, in welcher das von einem isolirten Metalldrahte getragene Goldblättchen herabhängt. Ueber die neuesten Verbesserungen dieses Apparates findet man im ersten Bande der »Lehre von der Reibungselektricität« von Rieß nähere Auskunft.

Drittes Capitel.

Der elektrische Strom und seine Wirkung auf die durchströmten Körper.

Entstehung des elektrischen Stromes. Wenn ein mit positiver Elektricität geladener Körper mit einem negativ elektrischen durch einen Leiter in Verbindung gesetzt wird, so gehen durch diesen Leiter die entgegengesetzten Elektricitäten zu einander über, es entsteht ein elektrischer Strom, dessen Dauer nur eine momentane ist, wenn die Ladung der beiden entgegengesetzt elektrischen Körper alsbald erschöpft wird, wie dies z. B. bei der Entladung der Leydner Flaschen der Fall ist. Wenn aber den beiden entgegengesetzt elektrischen Körpern in dem Maße wieder Elektricität zugeführt wird, als sie dieselbe nach der anderen Seite abgeben, so muß nothwendig ein continuirlicher elektrischer Strom entstehen. Ein derartiger Fall tritt ein, wenn der Conductor der Elektrisirmaschine durch einen Metalldraht mit dem Reibzeuge in leitende Verbindung gebracht wird. Alle positive Elektricität, welche nun durch das Drehen der Maschine dem Conductor zugeführt wird, strömt sogleich wieder von demselben durch den Draht nach dem Reibzeuge ab, während gleichzeitig die negative Elektricität des Reibzeugs auf den Conductor und von diesem auf die Glasscheibe überströmt. Während also alle Spannungserscheinungen vollkommen verschwinden, wird der Verbindungsdraht von continuirlichen Strömen durchflossen, welche aber in dem vorliegenden Falle viel zu schwach sind, um nur einigermaßen kräftige Wirkungen hervorzubringen, so daß man, um die Existenz dieses Stromes nachzuweisen, feinere Hülfsmittel in Anwendung bringen muß, welche wir erst später werden kennen lernen. 71

Während also die Elektrisirmaschine zwar Elektricität von hoher Spannung, aber in so geringer Menge liefert, daß man an ihr nur Spuren von Stromeswirkungen nachweisen kann, ist umgekehrt die Volta'sche Säule, obgleich die elektrische Spannung an ihren Polen verhältnißmäßig sehr gering

ist, eine sehr reiche Elektricitätsquelle, so daß man ausschließlich die Volta'sche Säule (freilich meist in anderen Formen als in der oben beschriebenen) anwendet, wo es sich um kräftige Stromeswirkungen handelt.

Da man die durch Berührung heterogener Körper entwickelte Elektricität zum Unterschiede von der durch Reibung entwickelten als galvanische Elektricität bezeichnet, so nennt man den von der Volta'schen Säule gelieferten Strom auch den galvanischen Strom. Weil aber dieser Strom nur durch die Vermittelung flüssiger Leiter zu Stande kommen kann, so wird er auch als hydro-elektrischer Strom bezeichnet.

Die Wirkungen des galvanischen Stromes zerfallen in zwei Hauptabtheilungen, nämlich in diejenigen, welche in den durchströmten Körpern selbst hervorgebracht werden, und solche, welche ein durchströmter Leitungsdraht auf benachbarte Körper hervorbringt. Bevor wir aber die verschiedenen Wirkungen des galvanischen Stromes selbst ausführlicher besprechen können, müssen wir vorerst die verschiedenen Formen der Volta'schen Säule, sowie die wichtigsten Gesetze der Stromstärke kennen lernen.

72 **Verschiedene Formen der galvanischen Kette.** Mit dem Namen der galvanischen Kette bezeichnet man alle Apparate, welche zur Hervorbringung eines continuirlichen elektrischen Stromes dienen. Nach Wheatston's Vorschlag kann man sie auch Rheomotoren nennen. In der Regel sind sie aus zwei Metallen und einer oder zwei Flüssigkeiten construirt. Die bisher besprochene Volta'sche Säule war der erste derartige Apparat; allein diese Form bietet mannigfache Mißstände. Die unteren Scheiben nämlich sind durch das Gewicht der oberen stärker zusammengedrückt; die feuchten Scheiben werden dadurch ausgepreßt, sie werden trocken, während die Flüssigkeit an der Seite der Säule herunterrinnt; dadurch wird aber eine leitende Verbindung zwischen den einzelnen Plattenpaaren hervorgebracht, welche den Totaleffect schwächt.

Der Trogapparat, welcher längere Zeit im Gebrauche war, ist Fig. 181 und Fig. 182 dargestellt. Die einzelnen Elemente bestehen aus rechtwink-

Fig. 181.

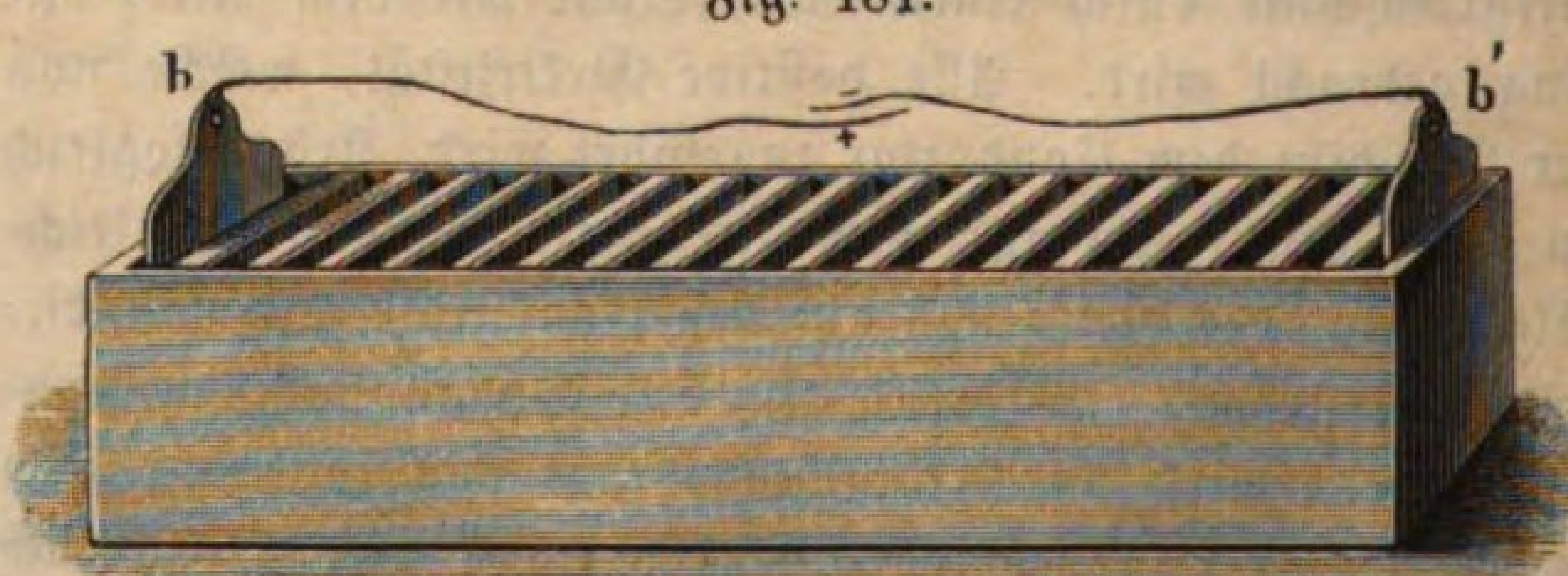
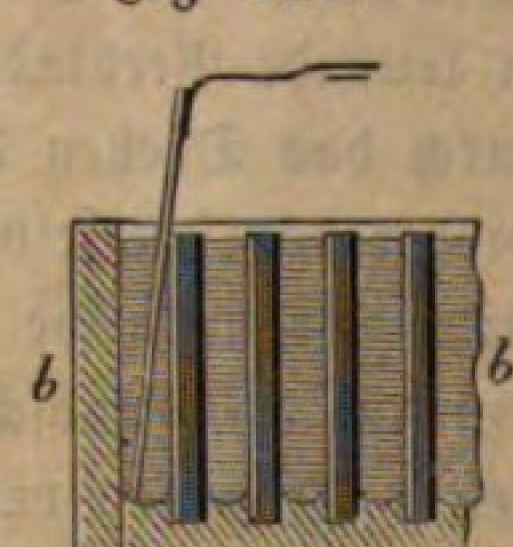


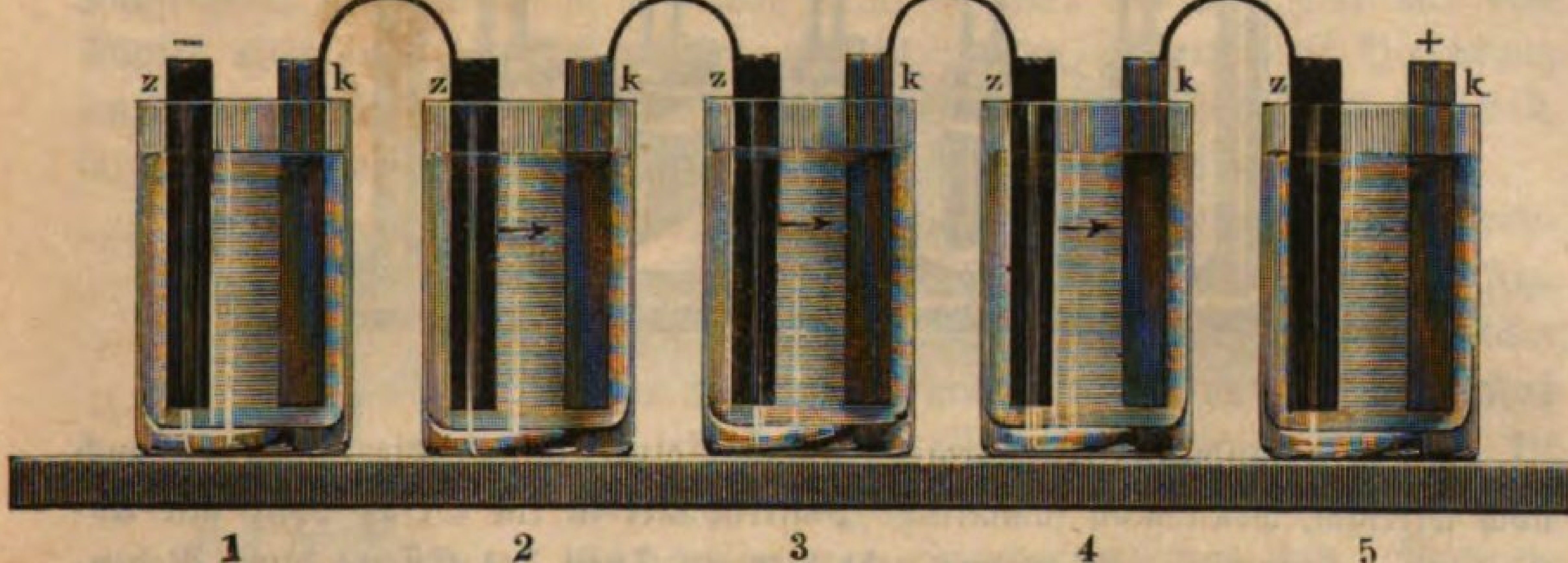
Fig. 182.



ligen Platten von Kupfer und Zink, welche auf einander gelöthet sind. Diese Plattenpaare sind einander parallel in einem Kasten von Holz, dessen Wände inwendig mit einer nichtleitenden Harzschicht überzogen sind, so befestigt, daß der Zwischenraum zwischen je zwei Plattenpaaren eine Zelle, einen Trog bildet, der mit gesäuertem Wasser gefüllt wird. Diese Wasserschicht, welche ungefähr 3 Linien dick ist, vertritt hier die Stelle der feuchten Scheibe.

Bei anderen galvanischen Apparaten befindet sich die Flüssigkeit in getrennten Gefäßen oder Gläsern, die zu einem Kreise oder in gerader Linie zusammengestellt sind. Jedes Glas enthält eine Zink- und eine Kupferplatte, die sich aber nicht berühren, jede Zinkplatte ist durch einen Kupferdraht oder Kupferstreifen mit der Kupferplatte des vorhergehenden Glases verbunden, wie dies durch das Schema, Fig. 183, angedeutet ist, wo die Kupferplatten mit *k*,

Fig. 183.



die Zinkplatten mit *z* bezeichnet sind. Die Zinkplatte im Glase 5 ist mit der Kupferplatte des Glases 4 durch einen Draht verbunden, die Zinkplatte in 5 wird also positiv, der positive Strom geht von dieser Zinkplatte durch die Flüssigkeit zur gegenüberstehenden Kupferplatte, der positive Strom circulirt also in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung, sobald die Zinkplatte in 1 mit der Kupferplatte in 5 leitend verbunden wird.

Man hat die Form dieser Apparate durch Veränderung der Plattenform auf das Mannigfaltigste abgeändert; so ist z. B. in der Wollaston'schen Kette, von welcher in Fig. 184 ein Plattenpaar abgebildet ist, die Kupferplatte so um die Zinkplatte herumgebogen, daß jeder Seite der Zinkplatte eine Kupferfläche gegenübersteht.

Fig. 184.

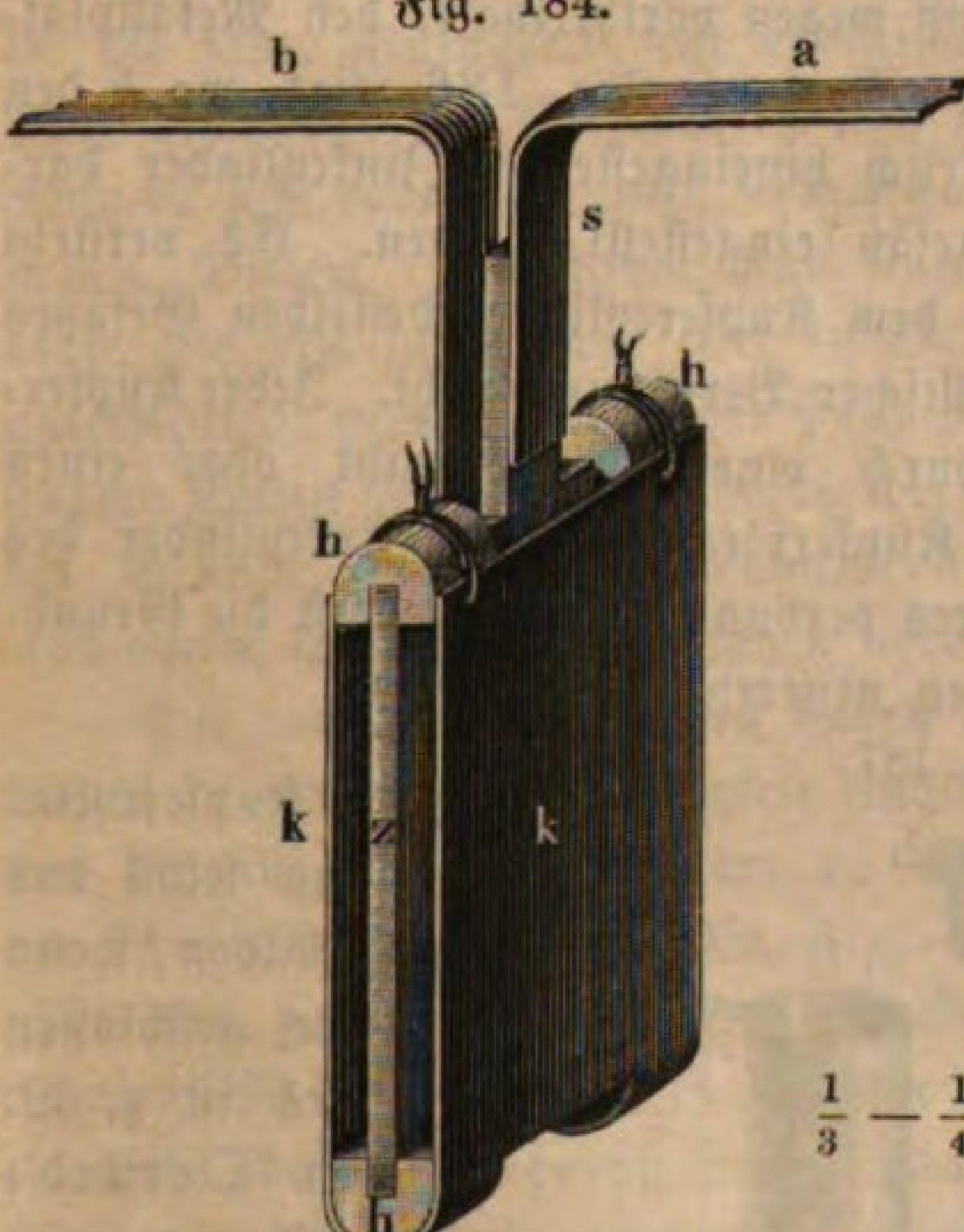
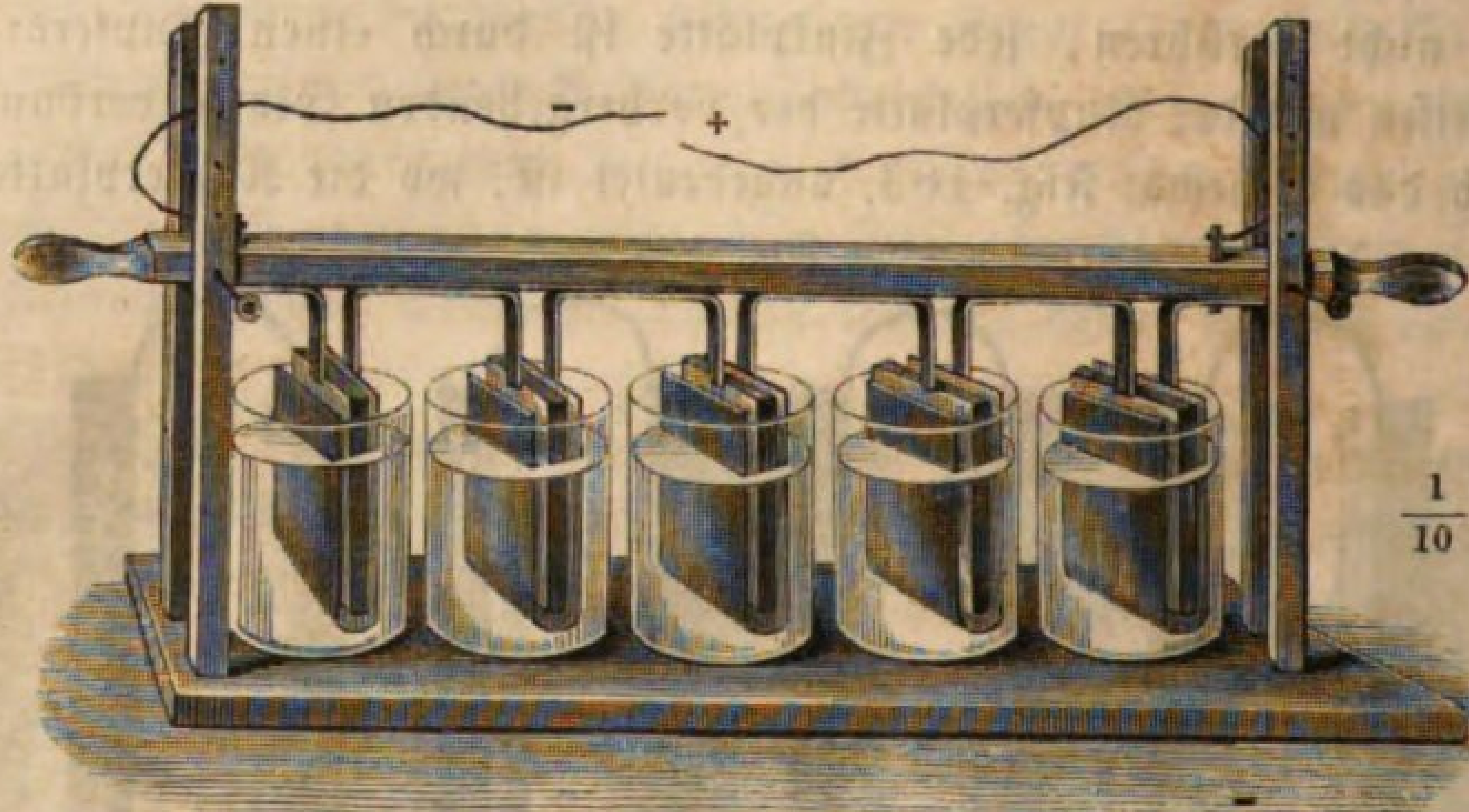


Fig. 185 (a. f. S.) zeigt die Wollaston'sche Batterie von fünf Plattenpaaren. Sämmtliche Plattenpaare sind an einer Holzleiste befestigt, so daß man sie gleichzeitig in die Flüssigkeit eintauchen und wieder herausnehmen kann. Zur Füllung der Gefäße wendet man Wasser an, dem $^1/_{12}$ bis $^1/_{20}$ Schwefelsäure zugesetzt ist.

Statt der einzelnen Gläser wendet man auch Tröge von gebranntem und glasirtem Thon an, welche durch Scheide-

wände in einzelne Zellen getheilt sind, so daß immer ein Plattenpaar in eine Zelle kommt.

Fig. 185.



Diese Absonderung ist übrigens nicht absolut nöthig, die Säule ist auch noch wirksam, wenn man sämmtliche Plattenpaare in ein Gefäß ohne alle Abtheilungen eintaucht. Allerdings geht hier ein Theil des Effects durch Nebenschließung verloren, dieser Verlust ist aber um so geringer, je kleiner die Anzahl der Plattenpaare ist.

Ganz in ähnlicher Weise, wie die Wollaston'sche Batterie, ist auch die Smee'sche aus Zink und platinirtem Silber construirt; nur ist die Silberplatte auf beiden Seiten vom Zink umgeben, wie es auch bei der Platinplatte der Grove'schen Batterie der Fall ist, die wir bald werden kennen lernen.

Wo man getrennte Gläser anwendet, um die einzelnen Plattenpaare hineinzutauchen, da ist es der Raumersparniß wegen vortheilhaft, den Metallplatten die Form eines hohlen Cylinders zu geben, wie Fig. 186 zeigt, wo *k* den Kupfercylinder, *z* einen engeren concentrisch hineingestellten Zinkcylinder darstellt, wie sie in ein und dasselbe Glasgefäß eingestellt werden. Es versteht sich von selbst, daß der Zinkcylinder mit dem Kupfercylinder desselben Gefäßes nicht in metallischer Berührung steht. Jeder Kupfercylinder ist durch einen Kupferdraht oder einen Streifen von Kupferblech mit dem Zinkcylinder des folgenden Paares verbunden. — Dies ist die Grundform der meisten neueren Rheomotoren.

Fig. 186.



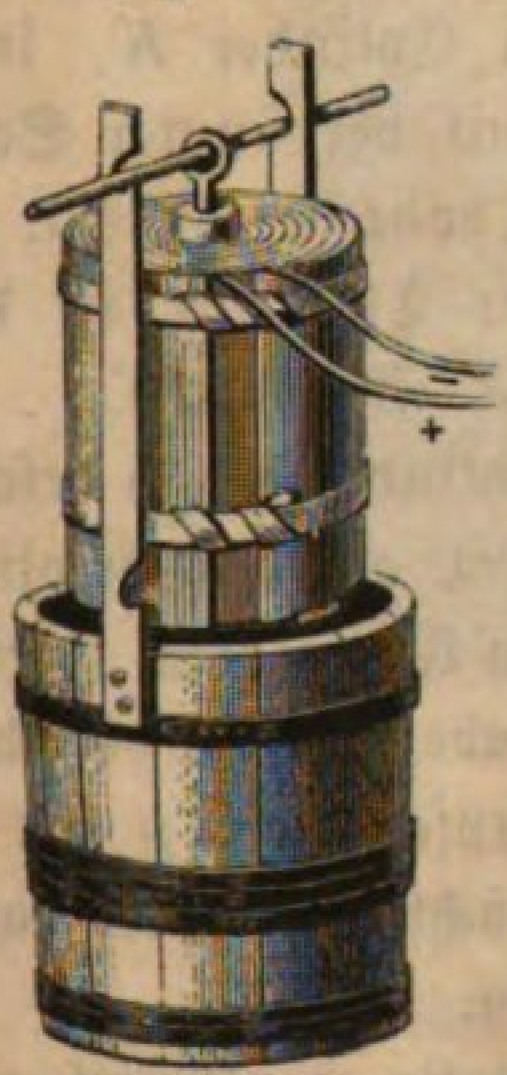
Fig. 187.



Der Kupfercylinder kann selbst das Gefäß bilden, wenn er unten geschlossen ist; dies ist z. B. bei den Oersted'schen Apparaten, Fig. 187, der Fall.

C ist ein Gefäß, welches durch zwei Cylinder von Kupferblech gebildet ist, die ungleichen Durchmesser haben, von denen der eine in dem anderen steckt und die am Boden mit einander verbunden sind, so daß ein Raum zwischen beiden bleibt, welcher den Zinkcylinder *Z* und das gesäuerte Wasser aufnimmt. An dem Zinkcylinder ist ein Kupferdraht angelöthet, der mit einem Näpfchen endigt, in welches Quecksilber gegossen wird. Ein ähnliches Quecksilbernäpfchen ist an dem Kupfergefäße angelöthet. Wenn man den Zinkcylinder in das Kupfergefäß hineinstellt, so muß man dafür sorgen, daß das Zink mit dem Kupfer nicht in leitende Berührung kommt. Man hindert diese Berührung am besten durch einige Stückchen Kork. Wenn man die Kette schließen will, so verbindet man die Quecksilbernäpfchen durch einen Metalldraht.

Fig. 188.



$\frac{1}{20}$

Wenn es auf eine sehr große Oberfläche der Metallplatten ankommt, wendet man Hare's Calorimotor an, welcher Fig. 188 dargestellt ist. Auf einem Holzcylinder, welcher etwa 3 Zoll im Durchmesser hat und 1 bis 1,5 Fuß hoch ist, sind zwei Platten, die eine von Zink, die andere von Kupfer gleichsam aufgewickelt, welche durch Tuchstreifen von einander getrennt sind. Man erhält auf diese Weise ein Plattenpaar von 50 bis 60 Quadratfuß Oberfläche. Der Name Calorimotor rührt daher, weil dieser Apparat besonders geeignet ist, Metalldrähte glühend zu machen und zu schmelzen.

Die constanten Säulen. Bei allen den 73
bis jetzt besprochenen einfachen und zusammengesetzten Ketten ist die Wirkung gleich nach dem Eintauchen in die saure Flüssigkeit sehr energisch, sie nimmt aber sehr rasch ab. Diese Veränderlichkeit des Stromes ist nun für immer, namentlich aber dann störend, wenn es sich darum handelt, vergleichende Versuche über die Stromkraft anzustellen. Diesem Uebelstande sind nun die sogenannten constanten Batterien, die erst in neuerer Zeit in Aufnahme gekommen sind, ungleich weniger unterworfen. Hier wird vor der Hand nur eine Beschreibung der wichtigsten constanten Ketten folgen, die Theorie derselben aber, sowie die Auseinandersetzung der Gründe, warum in gewöhnlichen Ketten die Stromkraft so rasch abnimmt, muß einem späteren Paragraphen vorbehalten bleiben.

Die constanten Batterien haben das gemeinschaftlich, daß das negative Metall in eine andere Flüssigkeit eingetaucht ist als das positive. Gewöhnlich sind die einzelnen Plattenpaare in einzelne Gläser vertheilt, ähnlich wie bei der Wollaston'schen Batterie, Fig. 185; um aber Raum zu ersparen, sind sie nicht eben, sondern cylinderförmig gekrümmt. Die Flüssigkeit, in welche das negative Metall eintaucht, ist von der Flüssigkeit, in welche das positive Metall eintaucht, durch eine poröse Scheidewand getrennt, für welche man anfangs zum Theil thierische Blasen anwandte, welche später durch hohle poröse Thoncylinder ersetzt wurden, die unter dem Namen der Thonzellen bekannt sind.

Das Zink dient bei allen constanten Batterien als positives Metall und ist in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht; als negatives dagegen wird bei der Becquerel'schen oder Daniell'schen Säule Kupfer, eingetaucht in eine concentrirte Lösung von Kupfervitriol, bei der Grove'schen Platin, eingetaucht in concentrirte Salpetersäure, angewandt. Bei der Bunsen'schen Säule ist das Platin durch die noch mehr elektronegative Kohle ersetzt.

Fig. 189.



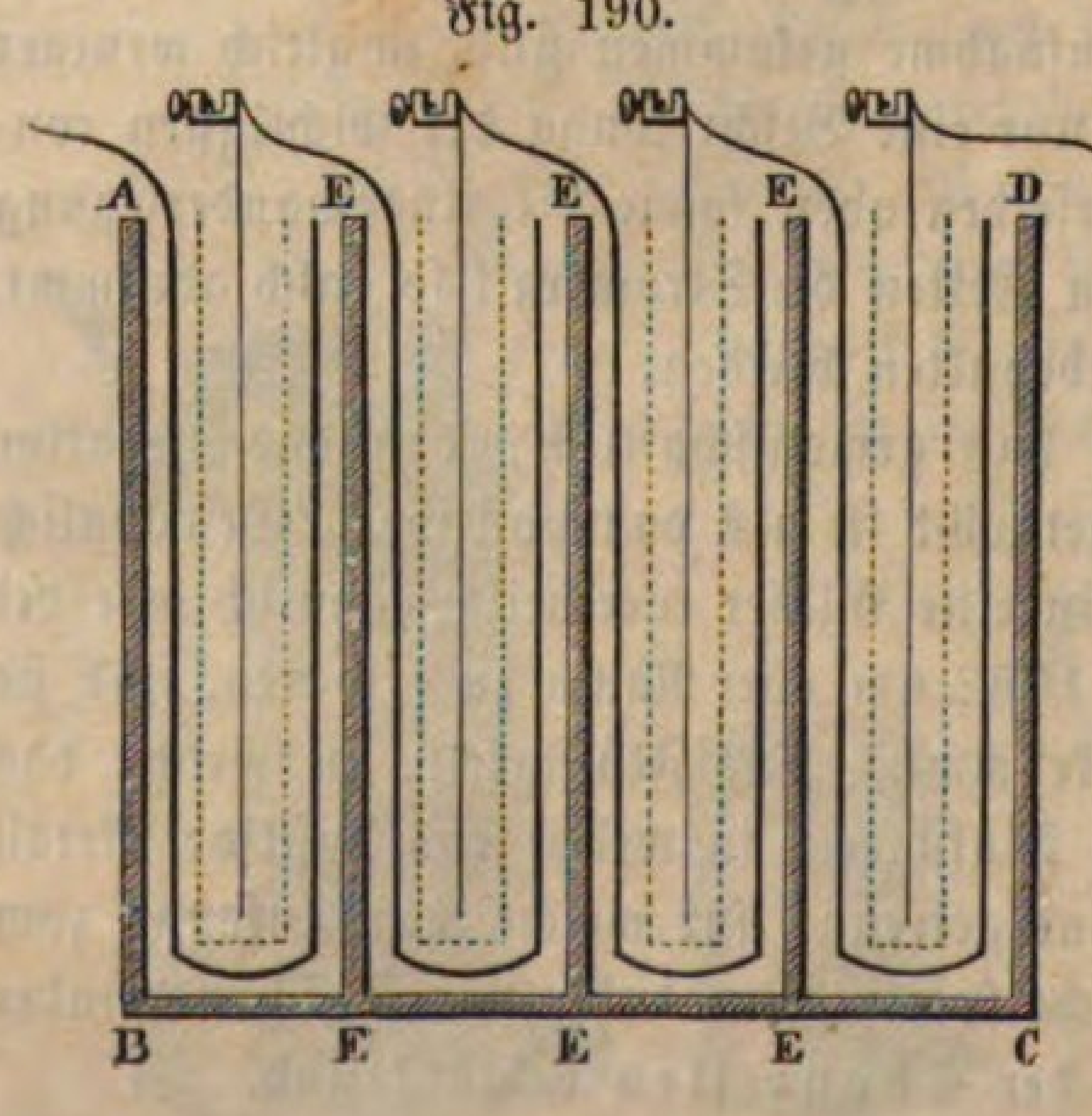
$\frac{1}{5}$

Fig. 189 stellt einen Daniell'schen Becher dar. Das mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllte Glasgefäß enthält zunächst einen aus Kupferblech gebogenen hohlen Cylinder *K*, innerhalb dessen die mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Thonzelle *T* steht. In die Flüssigkeit der Thonzelle ist dann der Zinkcylinder *Z* eingetaucht.

An dem Zinkcylinder ist ein geschlitzter Metallstreifen *m*, am Kupfercylinder ein Streifen *p* von Kupferblech befestigt, welcher die Schraube *s* trägt, vermittelst deren man den Kupferstreifen *p* mit dem Streifen *m* des nächsten Bechers zusammenschrauben kann.

Die Grove'sche Batterie ist aus Zink und Platin construirt; Fig. 190 zeigt schematisch die ursprüngliche Form derselben. *ABCD* ist ein Trog von Steingut, welcher durch die Scheidewände *E* in einzelne Zellen getheilt ist, von denen jede ein Plattenpaar aufnimmt. Die punktirten Linien bezeichnen den Durchschnitt poröser Thongefäße von parallelopipedischer Gestalt. Jede Thonzelle wird mit concentrirter Salpetersäure, der sie umgebende Raum wird mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt. In jeder porösen Thonzelle hängt eine Platinplatte herab, welche an den oben umgebogenen Rand der folgenden Zinkplatte angeschraubt ist. Die Zinkplatte ist so umgebogen, daß sie von beiden Seiten das poröse Thongefäß umgiebt. Es ist dies deutlicher aus Fig. 192 zu ersehen, welche das letzte Plattenpaar der

Fig. 190.



einen Seite darstellt. *B* ist das poröse Thongefäß, in welches die Platinplatte hinabhängt. An dem umgebogenen Rande *a* der Zinkplatte *A* ist die Platinplatte *C* angeschraubt, welche in die folgende Zelle hinabhängt.

Fig. 191 stellt endlich eine Batterie von vier Plattenpaaren dar.

Fig. 191.

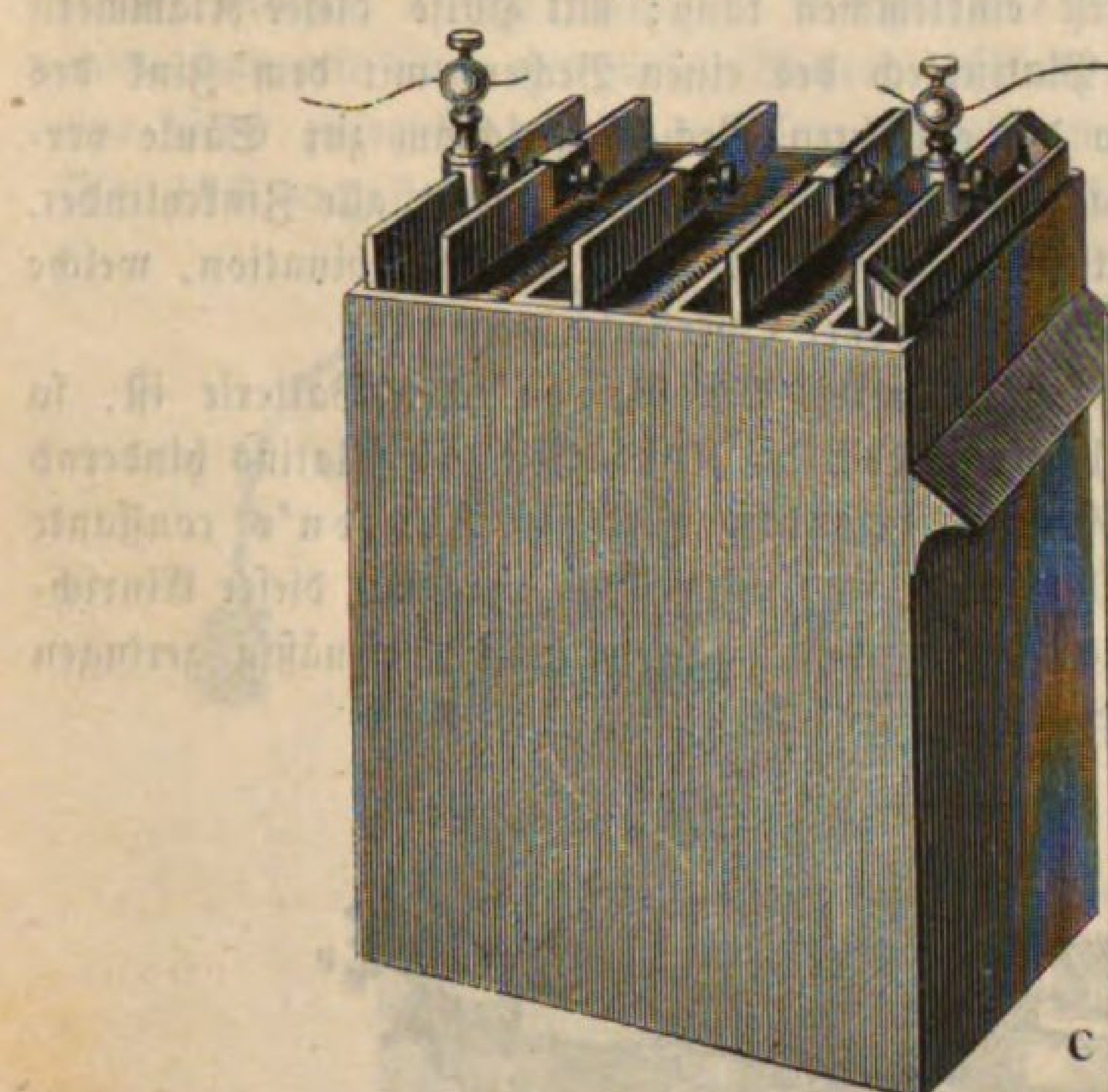
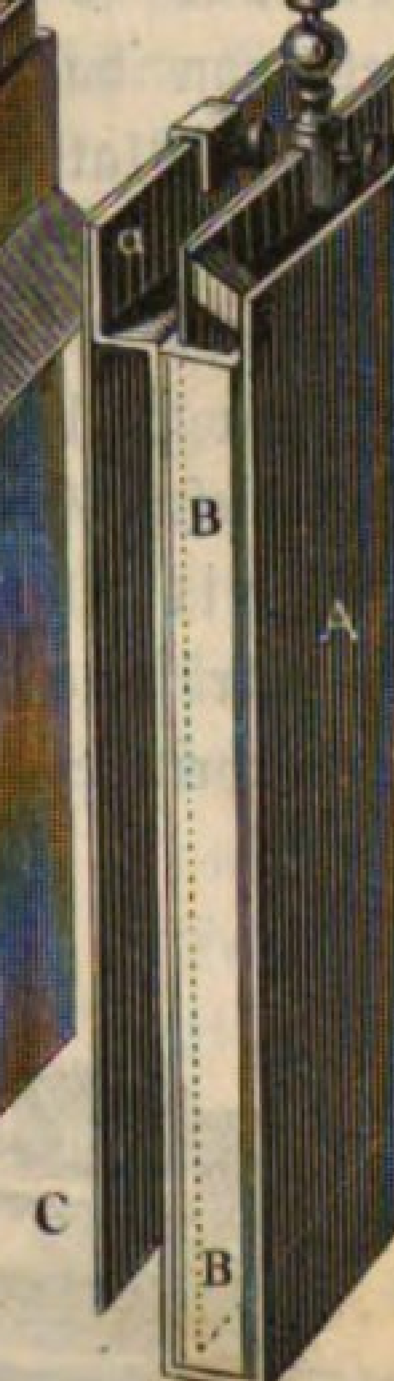


Fig. 192.



Die rectangulären Thonzellen sowohl, wie auch der ganze Trog mit den Scheidewänden sind sehr schwierig anzufertigen. Man hat deshalb die Form des Apparates dahin abgeändert, daß man runde Thonzellen und runde Glasgefäße anwendet.

Fig. 193.



Fig. 194.

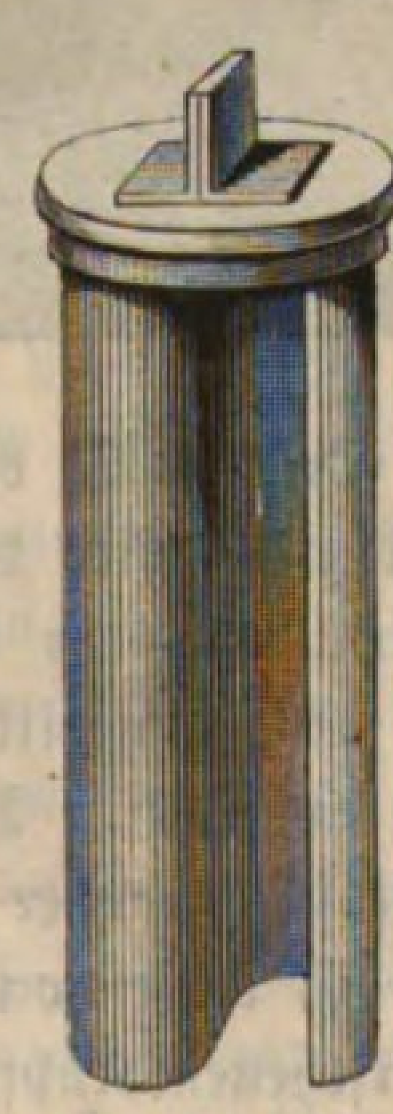


Fig. 193 stellt einen derartigen Grove'schen Becher dar. In einem runden Glasgefäße, welches verdünnte Schwefelsäure enthält, steht der hohle Zinkcylinder. Innerhalb desselben steht die poröse Thonzelle, welche mit Salpetersäure gefüllt wird und in welche das Platinblech eingetaucht ist. Das Platinblech ist, wie man aus Fig. 194 deutlicher sieht,

an einem runden Brettchen befestigt, welches gleichsam den Deckel für die Thonzelle bildet. In diesem Deckel steckt ein Stückchen Kupferblech, an welchem unten das Platinblech befestigt ist, während oben eine Messingklammer aufgeschraubt wird. Eine ähnliche Messingklammer sitzt auf dem Messingcylinder. Diese Klammern haben oben runde Löcher, in welche man Draht einstecken und durch die obere Schraube fest einklemmen kann; mit Hülfe dieser Klammern kann man nun leicht das Platinblech des einen Bechers mit dem Zink des folgenden verbinden und so die einzelnen Becher gleichsam zur Säule vereinigen. Verbindet man dagegen durch einen Kupferdraht alle Zinkcylinder, durch einen zweiten alle Platinbleche, so erhält man eine Combination, welche wirkt wie ein Plattenpaar von sehr großer Oberfläche.

So vortrefflich auch die Wirksamkeit der Grove'schen Batterie ist, so steht ihrer allgemeineren Verbreitung doch die Kostbarkeit des Platins hindernd in dem Wege. In dieser Hinsicht besonders verdient Bunsen's constante Zink-Kohlenbatterie allgemeine Empfehlung, da man mit dieser Einrichtung ganz ungemein kräftige Wirkungen mit einem verhältnißmäßig geringen Kostenaufwande hervorbringen kann.

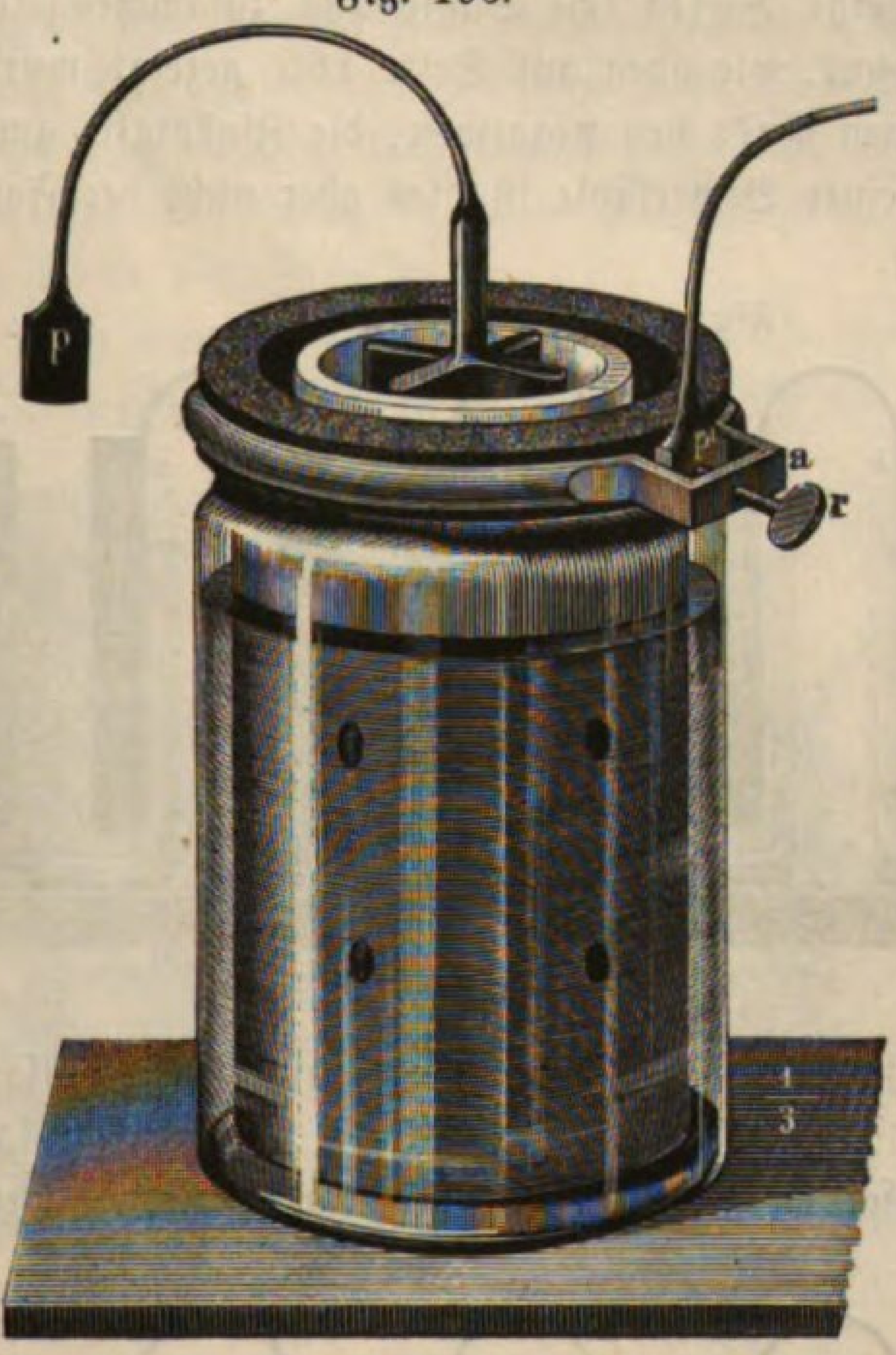
Fig. 195.



In der Bunsen'schen Batterie ist das Platin durch die noch mehr elektronegative Kohle ersetzt, und zwar wird die Kohle in Form von hohlen Cylindern angewendet. Die Einrichtung der Bunsen'schen Becher ist fast ganz dieselbe wie die des in Fig. 189 abgebildeten Daniell'schen Bechers. Der Zinkcylinder steht innerhalb der porösen Thonzelle, welche verdünnte Schwefelsäure enthält; der Kohlencylinder, welcher die Thonzelle umgiebt, steht in concentrirter Salpetersäure und ist oben von einem Kupferringe umfaßt, welcher einen mit einer Schraube versehenen Kupferstreifen trägt (dem Streifen *p* und der Schraube *s*, Fig. 189, entsprechend), mittelst dessen der Kohlencylinder mit dem Zink des nächsten Bechers verbunden wird. Fig. 195 stellt eine aus vier solchen Bunsen'schen Bechern zusammengesetzte Säule dar.

Bei der in unserer Figur dargestellten Einrichtung wird der oben um den Kohlencylinder gelegte Kupferring erst durch eine Schraube fest angedrückt. Da aber die Salpetersäure in der Kohle in die Höhe sickert und das Kupfer stark angreift, so muß man nach jedesmaligem Gebrauch die Kupferringe entfernen und sie sorgfältig reinigen, ehe man sie zu einem abermaligen Gebrauche wieder anlegt. Dieses Reinigen, Anlegen und Abnehmen der Ringe ist aber, wenn man mit einer aus vielen Bechern zusammengesetzten Säule zu thun hat, eine höchst zeitraubende und mühsame Arbeit, welche Stöhrer durch die in Fig. 196 dargestellte Einrichtung der Bunsen'schen Becher umgangen hat.

Fig. 196.



Um den oberen Rand des Kohlencylinders ist ein starker messingener Ring gelegt, welcher ein für allemal fest sitzt. Da dieser Ring durchaus nicht die Leitung des Stromes zu vermitteln hat, so kann er auch Innen, wo er an die Kohle anliegt, stark gefirnißt sein, und falls er von der Säure etwas angefressen werden sollte, so schadet das durchaus nicht, so lange er nur noch hinlänglich fest sitzt. Bei *a* ist dieser Ring mit einer viereckigen Ausbiegung versehen. An jedem Zinkcylinder, welcher, wie die Figur zeigt, einen kreuzförmigen Querschnitt hat, ist ein weicher Kupferdraht befestigt, welcher mit einer etwa 1 Linie dicken Kupferplatte *p* endigt. Die Platte *p'*, welche mit dem Zink des vorhergehenden Bechers zusammenhängt, wird nun in die viereckige Ausbiegung *a* eingesetzt und durch die Schraube *r* fest gegen die Kohle dieses Bechers angepreßt.

Die Bereitung der Kohlencylinder kann hier nicht näher besprochen werden.

Das elektronegative Metall kann auch durch Eisen ersetzt werden, wenn dasselbe in concentrirte Salpetersäure eingetaucht wird. Die Salpetersäure macht das Eisen passiv, d. h. das Eisen überzieht sich unter dem Einflusse der Salpetersäure, wie weiter unten gezeigt werden soll, mit einer stark elektronegativen Schicht, welche den weiteren Angriff der Säure hindert. Eine Säule von Zink in verdünnter Schwefelsäure und von Eisen in concentrirter Salpetersäure wirkt fast ebenso kräftig, wie eine Grove'sche oder Bunsen'sche.

Man kann auch das Zink durch Eisen ersetzen und so eine Säule aus einem Metall construiren, dessen Platten aber abwechselnd in verdünnter Schwefelsäure und concentrirter Salpetersäure stehen.

Die Salpetersäure, welche man zu den letztgenannten Apparaten verwenden will, muß sehr concentrirt sein, weil schwächere Säure das Eisen stürmisch angreift, wobei eine bedeutende Entwickelung von Dämpfen salpetriger Säure stattfindet. Sobald dies eintritt, hört natürlich die elektromotorische Wirksamkeit des Apparates auf.

74 **Bestimmung der Pole und der Stromesrichtung in einer Bechersäule.** Wenn man eine Volta'sche Säule aus zusammengelötheten Zink- und Kupferplatten aufbaut, wie oben auf Seite 165 gezeigt wurde, so bildet die Kupferplatte am einen Ende den negativen, die Zinkplatte am anderen den positiven Pol. Bei einer Bechersäule ist dies aber nicht der Fall, wie die folgende Betrachtung zeigt.

Fig. 197.

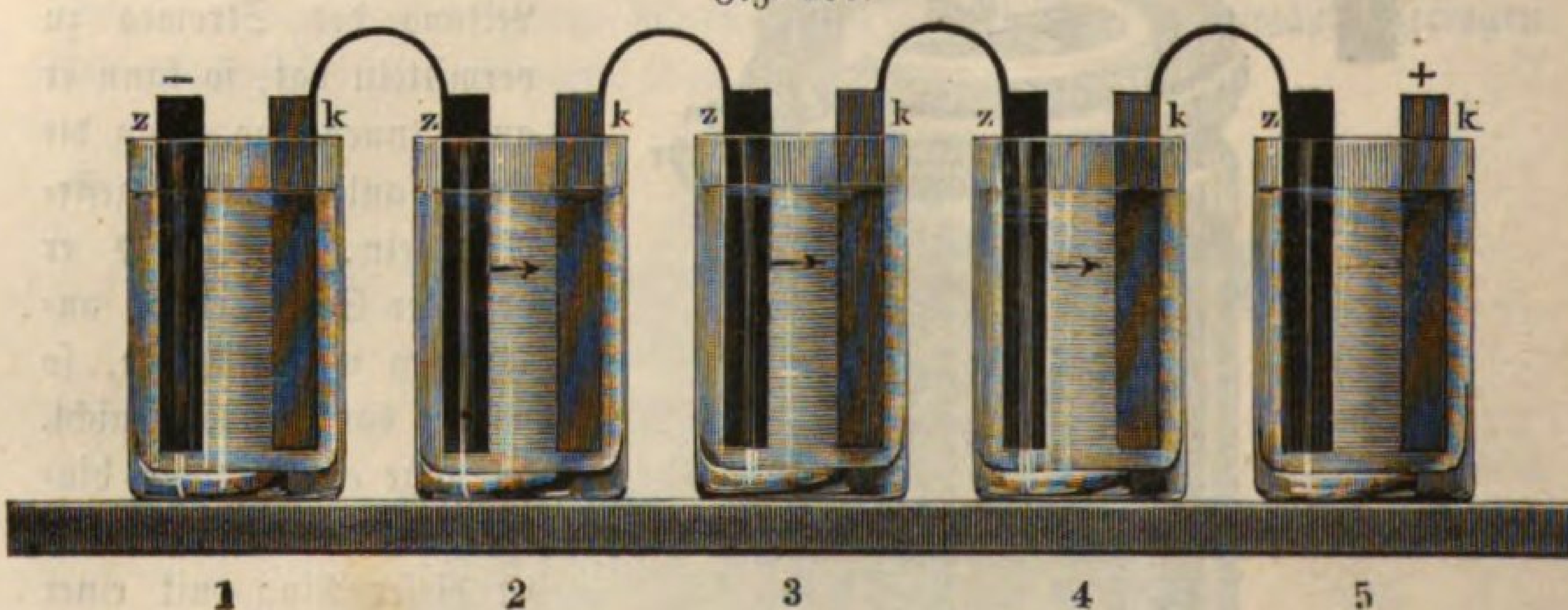
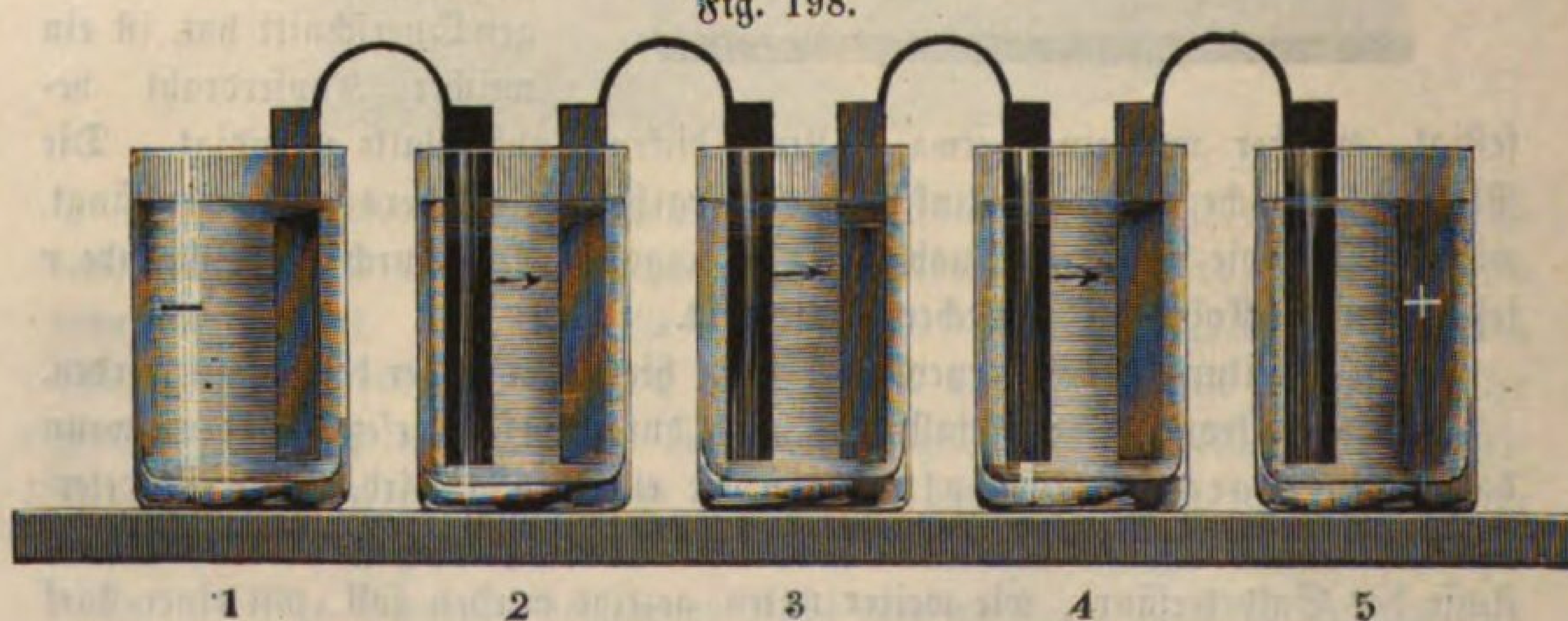


Fig. 197 ist die schematische Darstellung einer aus fünf Bechern zusammengesetzten Säule. So lange die Kette nicht geschlossen ist, ist die Zinkplatte im Becher 1 nicht mit einer Kupferplatte, die Kupferplatte im Becher 5 aber nicht

Fig. 198.



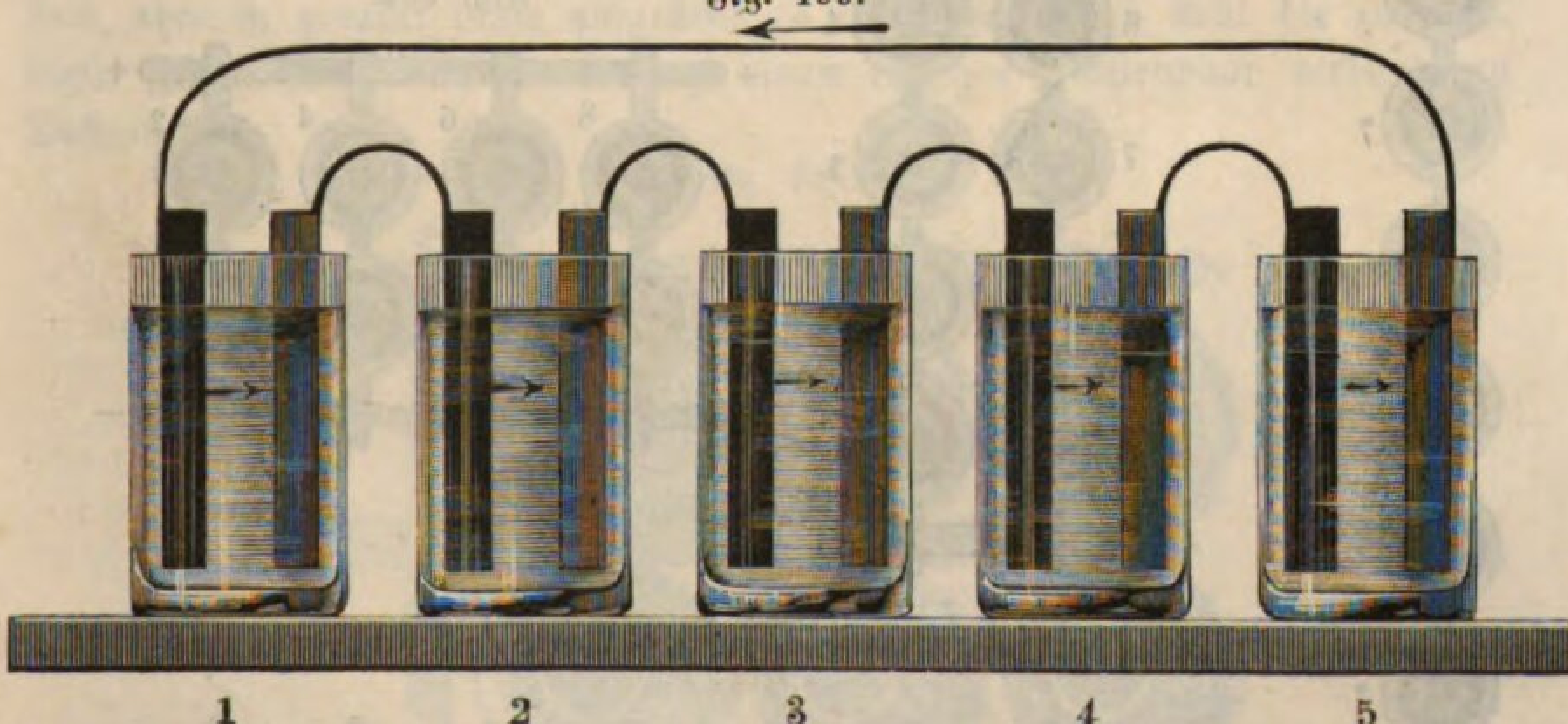
mit einer Zinkplatte metallisch verbunden. Wird nun die Zinkplatte aus 1, die Kupferplatte aus 2 herausgenommen, so bleiben noch vier Plattenpaare übrig, wie man dies Fig. 198 sieht. In jedem dieser Plattenpaare ist nun das Zink

durch die Berührung mit der entsprechenden Kupferplatte elektropositiv, und von jeder Zinkplatte wandert die positive Elektricität durch die Flüssigkeit zur gegenüberstehenden Kupferplatte, welche dem nächstfolgenden Plattenpaare angehört, ganz so wie es der auf Seite 165 entwickelten Theorie der Säule entspricht. Die Zinkplatte in 5 ist also die positive, die Kupferplatte in 1 ist die negative Polplatte, und demgemäß ist auch die Flüssigkeit in 5 mit freier positiver, die Flüssigkeit in 1 mit freier negativer Elektricität geladen.

Wird nun eine Kupferplatte in die Flüssigkeit des Bechers 5 eingetaucht, so wird die positive Ladung der Flüssigkeit auf diese Platte übergehen (wobei man für unseren Zweck die unbedeutende elektromotorische Kraft zwischen der Flüssigkeit und dem Metalle unberücksichtigt lassen kann), *die in 5 eingetauchte Kupferplatte bildet also den positiven Pol der Säule*, wie dies auch in Fig. 198 bereits angedeutet ist. *Eine in die Flüssigkeit des Bechers 1 eingetauchte Zinkplatte dagegen wird zum negativen Pole der Säule.*

Wird nun die Kette geschlossen, indem man etwa, wie es Fig. 199 andeutet, die Kupferplatte in 5 mit der Zinkplatte in 1 durch einen Metalldraht

Fig. 199.



verbindet, so muß der positive Strom in der Richtung circuliren, wie es die Pfeile andeuten, er tritt also von der in den Becher 5 eingetauchten Kupferplatte in den Schließungsbogen ein.

Durch die metallische Verbindung der Kupferplatte in 5 und der Zinkplatte in 1 werden aber auch diese beiden Platten zu einem elektromotorischen Plattenpaare vereinigt, welches den Strom in gleicher Richtung forttreibt, wie die übrigen Plattenpaare.

Um in Betreff der Stromesrichtung einer Säule, sowie eines einfachen Plattenpaares nie irre zu werden, braucht man sich nur zu merken, *daß in jedem einzelnen Becher der positive Strom stets vom Zink durch die Flüssigkeit zur gegenüberstehenden Kupfer-, Platin- oder Kohlenplatte geht.*

75 **Verschiedene Combinationen Volta'scher Becher.** Es ist bereits erwähnt worden, daß man zu gewissen Stromeffecten einer Säule von vielen Plattenpaaren bedarf, während zu anderen nur wenige Plattenpaare, ja nur ein einziges nöthig ist, welches aber eine möglichst große Oberfläche haben muß. Im ersteren Falle wandte man sonst die eigentliche Volta'sche Säule, Fig. 176 Seite 166, im letzteren dagegen Hare's Calorimotor oder ähnliche Apparate an. Wenn man mit constanten Rheomotoren experimentirt, also mit Daniell'schen, Bunsen'schen oder Grove'schen Bechern, so kann man nach Belieben bald eine Säule von vielen Plattenpaaren, bald eine solche von weniger Plattenpaaren, aber größerer Oberfläche herstellen, je nachdem man die Becher auf verschiedene Weise combinirt.

Gesetzt, man habe acht Becher zur Disposition, so sind mit denselben vier verschiedene Combinationen möglich; diese vier Combinationen sind in den Fig. 200 bis Fig. 203 dargestellt.

Fig. 200.



Fig. 201.

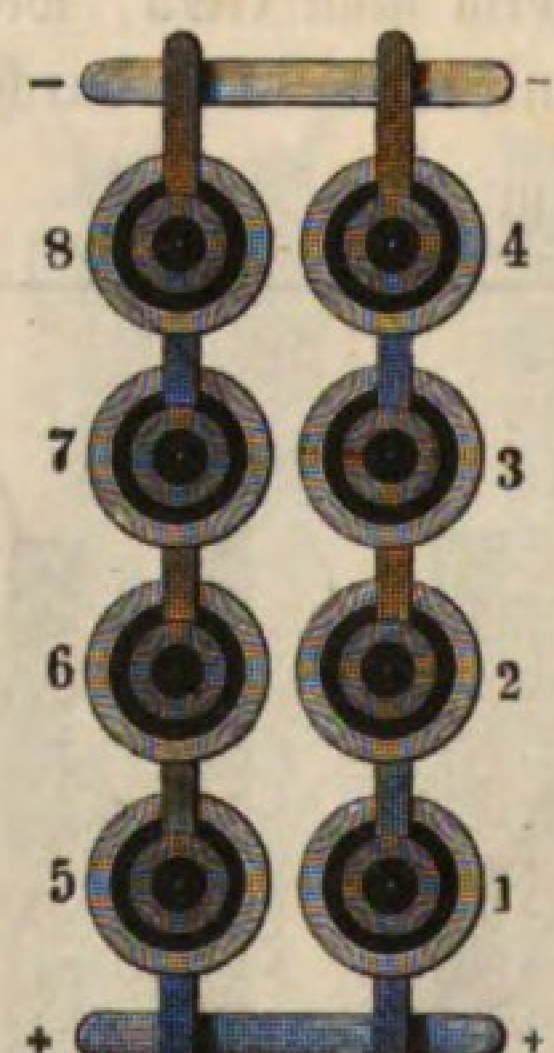


Fig. 202.

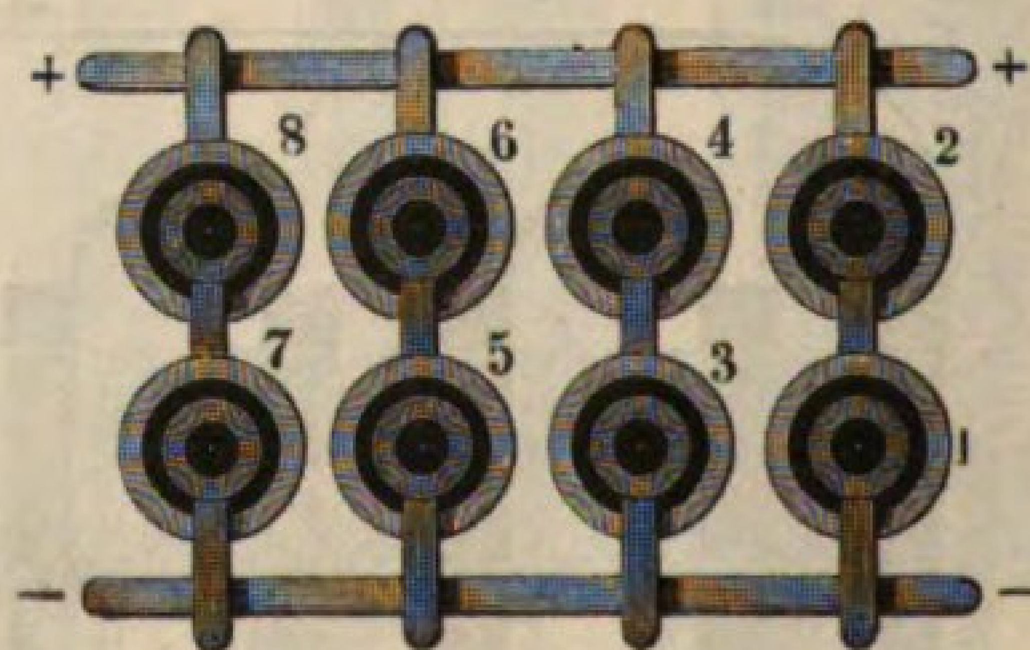


Fig. 203.

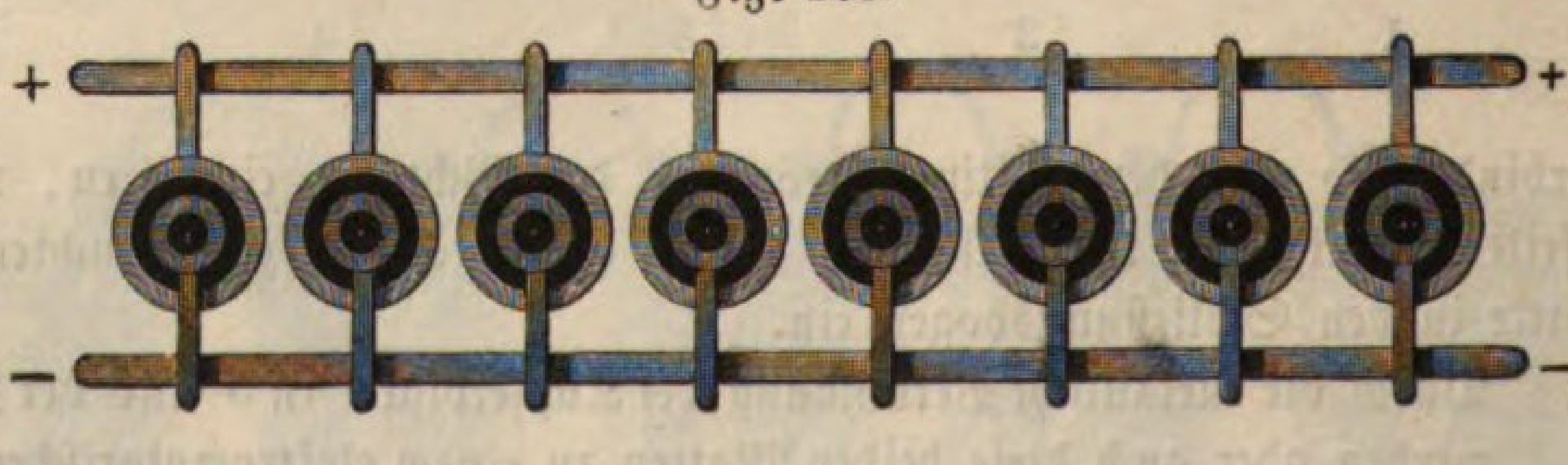


Fig. 200 stellt diejenige Combination der acht Becher vor, bei welchen sie eine Säule von acht Plattenpaaren bilden. Wenn die beiden Pole dieser Säule in leitende Verbindung gebracht werden, so muß der Strom die acht Becher der Reihe nach durchlaufen. Bezeichnen wir mit E die freie Spannung an den Polen eines einzelnen Bechers, so ist $8\,E$ die freie Spannung an den Polen der Säule Fig. 200.

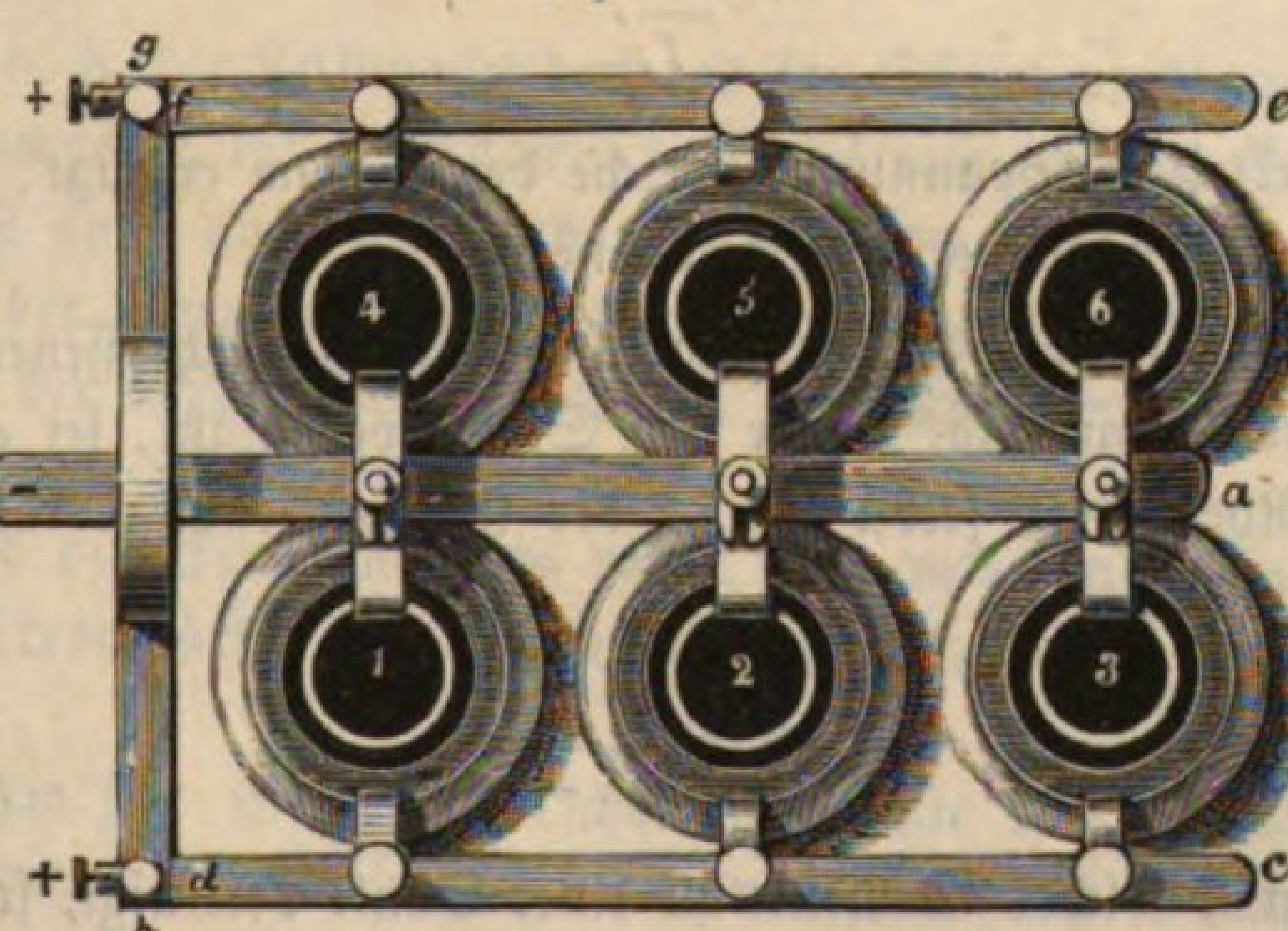
Bei der in Fig. 201 dargestellten Combination bilden die vier Becher 1, 2, 3 und 4 eine Säule; die vier Becher 5, 6, 7 und 8 bilden eine zweite Säule; die gleichnamigen Pole dieser beiden Säulen sind in leitende Verbindung gebracht, so daß das Ganze eine Säule von vier Plattenpaaren repräsentirt, deren jedes eine doppelt so große Oberfläche hat als ein Plattenpaar der Säule Fig. 200.

In Fig. 202 bilden die Becher 1 und 2 für sich eine Säule von zwei Plattenpaaren; 3 und 4 bilden eine zweite, 5 und 6 eine dritte, 7 und 8 endlich eine vierte. Die gleichnamigen Pole dieser vier Säulen sind in leitende Verbindung gebracht, so daß das Ganze eine Säule von zwei Plattenpaaren darstellt, deren Oberfläche 4mal so groß ist, als die eines einzelnen Bechers.

Bei der Combination Fig. 203 endlich sind die acht Zinkcylinder unter sich in leitende Verbindung gebracht, ebenso die acht Kupfercylinder, so daß das Ganze ein einfaches Plattenpaar von 8facher Oberfläche repräsentirt.

Es versteht sich von selbst, daß bei der Combination Fig. 200 und bei der Combination Fig. 203 die einzelnen Becher nicht durchaus in gerader Linie aufgestellt sein müssen. So stellt ja z. B. Fig. 195 auf Seite 178 vier Bunsen'sche Becher dar, welche zu einer Säule von vier Plattenpaaren verbunden sind, ohne in gerader Linie aufgestellt zu sein. Fig. 204 stellt die zweckmäßigste Zusammenstellung von sechs zu einem einzigen Plattenpaar verbundenen Bechern dar.

Fig. 204.



Das Ohm'sche Gesetz. Damit ein elektrischer Strom durch einen 76
Leiter hindurchgehen könne, ist es durchaus nöthig, daß die Elektricität an verschiedenen Stellen des Leiters eine ungleiche Spannung habe. Berührt man z. B. den Conductor einer Elektrisirmaschine mit einem Drahte, so strömt die Elektricität nur deshalb durch denselben ab, weil die starke Spannung der Elektricität auf dem Conductor dieselbe durch den Draht hindurchtreibt, weil also an dem einen Ende des Drahtes, da nämlich, wo er den Conductor berührt, eine stärkere Anhäufung von Elektricität stattfindet, als am anderen; verbände man zwei gleiche, gleich stark mit derselben Elektricität geladene Conductoren durch einen Draht, so könnte kein Strom entstehen.

Wenn die Volta'sche Säule isolirt ist, so befinden sich die entgegengesetzten Elektricitäten an den Polen in dem Zustande der Spannung, und dieser Zustand kann unmöglich ganz verschwinden, wenn die beiden Pole durch einen Leiter verbunden werden, denn es könnte keine positive Elektricität von dem positiven Pole abströmen, wenn hier nicht eine größere Anhäufung dieser Elektricität stattfände; es ist eine gewisse Spannung der Elektricität, gleichsam ein gewisser Druck nöthig, damit eine Bewegung entstehe, damit die Leitungswiderstände in dem Leiter überwunden werden, durch welchen der Strom hindurchgehen soll.

Die Quantität der Elektricität, welche einen Leiter durchströmt, hängt also wesentlich von zwei Umständen ab, erstens von dem zu überwindenden Leitungswiderstande und zweitens von der Spannung, dem Drucke, welcher die Elektricität durch den Leiter hindurchtreibt; es ist nun leicht einzusehen, daß die Quantität der Elektricität, welche durch einen gegebenen Leiter in einer gegebenen Zeit hindurchgeht, im umgekehrten Verhältniß des Leitungswiderstandes und im geraden Verhältniß der elektrischen Spannung stehen muß, welche den Strom durch den Leiter hindurchtreibt. Die Spannung ist hier gewissermaßen die beschleunigende Kraft.

Die Quantität der Elektricität, welche einen Leiter durchströmt, die Stromstärke läßt sich also ausdrücken durch

$$\frac{E}{L},$$

wenn E die elektrische Spannung, welche den Strom erzeugt, und L den zu überwindenden Leitungswiderstand bezeichnet.

Betrachten wir den Strom eines einfachen geschlossenen Volta'schen Elementes. Die Spannung, welche den Strom veranlaßt, sei e, der Leitungswiderstand im Rheomotor selbst sei λ, der im Schließungsdraht aber l, so ist also die Stromstärke

$$s = \frac{e}{\lambda + l}.$$

Hätte man n solcher Elemente zu einer Säule vereinigt, so würde die elektrische Spannung, welche den Strom in Bewegung setzt, ne sein, der Widerstand in der Säule aber ist in demselben Verhältniß gewachsen, denn jetzt ist nicht der Widerstand in einem, sondern in n Bechern oder Zellen zu überwinden, der Leitungswiderstand ist also jetzt $n\lambda$. Wenn nun der Schließungsbogen derselbe ist wie bei dem einfachen Plattenpaar, so hat man für die Stromstärke

$$S = \frac{ne}{n\lambda + l}.$$

Wäre l sehr klein im Vergleich zu λ, so würde der obige Werth von s sehr nahe $\frac{e}{\lambda}$, der Werth von S aber $\frac{ne}{n\lambda}$, also auch $= \frac{e}{\lambda}$ sein; wenn also der

Widerstand im Schließungsbogen klein ist im Vergleich zu dem Leitungswiderstande eines einzelnen Elementes, so gewährt die Vermehrung der Plattenpaare gar keinen Vortheil. Dahingegen hat eine Vermehrung der Zellen eine Vermehrung der Stromstärke zur Folge, wenn l sehr groß ist, d. h. wenn im Schließungsbogen ein bedeutender Widerstand zu überwinden ist.

Betrachten wir nun den Einfluß, welchen die Vergrößerung der Oberfläche eines einfachen Plattenpaares hat. Die Stromstärke für ein einziges Plattenpaar wurde oben mit $s = \frac{e}{\lambda + l}$ bezeichnet; wenn nun die Oberfläche des Volta'schen Elements $n$mal so groß würde, ohne daß sonst etwas geändert wird, so hätte dies doch nur zur Folge, den Leitungswiderstand zwischen den Platten selbst $n$mal kleiner zu machen, weil ja der Querschnitt der Flüssigkeit, durch welche der Strom hindurchgehen muß, $n$mal größer geworden ist; statt des Widerstandes λ hätte man also jetzt $\frac{\lambda}{n}$, die Stromstärke wird also sein

$$S' = \frac{e}{\frac{\lambda}{n} + l},$$

oder was dasselbe ist,

$$S' = \frac{n e}{\lambda + n l}.$$

Wäre l, d. h. der Leitungswiderstand im Schließungsbogen gleich Null, so wäre die Stromstärke der Oberfläche des elektrometrischen Elementes proportional; dies ist auch noch sehr nahe der Fall, wenn l nur sehr klein ist; eine Vergrößerung der Oberfläche bringt also dann eine Vermehrung der Stromstärke hervor, wenn der Leitungswiderstand im Schließungsbogen klein ist gegen den Widerstand in dem Rheomotor.

Dies sind die Grundzüge des von Ohm aufgefundenen und begründeten Gesetzes der Stromstärke, welches nach seinem Entdecker das Ohm'sche Gesetz genannt wird.

Das Ohm'sche Gesetz war schon im Jahre 1827 publicirt worden (die galvanische Kette, mathematisch behandelt von Dr. G. S. Ohm, Berlin, 1827); es fand jedoch erst viel später die allgemeine Würdigung, die es verdient; im Auslande wurde es erst sehr spät bekannt, und noch hat man namentlich in England nicht allgemein die hohe Bedeutung anerkannt, welche dieses Gesetz für die Elektricitätslehre hat. Das Ohm'sche Gesetz bietet uns fast überall den einzig sicheren Anhaltspunkt zur Lösung der schwierigsten galvanischen Fragen, und die Mißachtung desselben, die wir noch bei manchen über Elektricität schreibenden Autoren Englands finden, rächt sich in ihren Schriften durch eine oft gränzenlose Verwirrung in Dingen, welche durch das Ohm'sche Gesetz schon längst die befriedigendste Lösung erfahren haben.

Auch Pouillet macht Anspruch auf die Entdeckung des Gesetzes der Stromstärke, welches er auf experimentellem Wege aufgefunden, während Ohm

seine Resultate aus theoretischen Betrachtungen abgeleitet hat. Wenn man auch zugiebt, was sehr leicht möglich ist, daß beide Gelehrte ganz unabhängig von einander und auf ganz verschiedenen Wegen dasselbe Gesetz fanden, so muß man doch unbedingt Ohm die Priorität zugestehen, indem die Publication seines Werkes älter ist, als die der Pouillet'schen Versuche.

Was die experimentelle Bestätigung des Ohm'schen Gesetzes betrifft, so hatte man anfänglich mit großen Schwierigkeiten zu kämpfen, indem es einestheils an bequemen und sicheren Mitteln zur Messung der Stromstärke, andererseits auch an Rheomotoren fehlte, welche hinlänglich kräftige und doch constante Ströme zu liefern im Stande waren. Wir übergehen deshalb auch die älteren Versuche und wenden uns gleich zu den experimentellen Belegen, wie man sie mit vollkommenen Hülfsmitteln erhält.

Die Stärke eines galvanischen Stromes kann man nur aus seinen Effecten beurtheilen, wir müssen deshalb zunächst sehen, wie man verschiedene Stromwirkungen zur Messung der Stromstärke anwenden kann.

77 **Das Voltameter.** Wenn man an den beiden Polen einer Volta'schen Säule, etwa einer aus sechs Bunsen'schen Bechern zusammengesetzten, Kupferdrähte befestigt, welche mit Platinplatten von 1 bis 4 Quadratcentimeter Oberfläche endigen und diese Polplatten, ohne daß sie mit einander in Berührung kommen, in ein Gefäß mit gesäuertem Wasser taucht (ungefähr 1 Theil Schwefelsäure auf 10 Theile Wasser), so findet alsbald eine lebhafte Gasentwickelung an den Platinplatten statt. An der einen steigt Sauerstoffgas, an der anderen steigt Wasserstoffgas in die Höhe. Ohne noch die Gesetze der chemischen Wirkungen des Stromes näher zu erörtern, können wir doch nach Faraday's Vorgang die durch den elektrischen Strom bewirkte Wasserzersetzung als ein Maß für die Stromstärke benutzen.

Um durch die Wasserzersetzung die Stromstärke zu messen, ist es nicht nöthig, das über jeder Polplatte aufsteigende Gas für sich aufzufangen, es genügt, die gemischten Gase zu sammeln.

Fig. 205 stellt einen Apparat dar, wie man ihn zur Wasserzersetzung anwenden kann, wenn man die entwickelten Gase gemischt auffangen will. Das Glasgefäß wird mit Wasser gefüllt, dem etwas Schwefelsäure zugesetzt ist. Durch den Kork, welcher das Gefäß schließt, gehen zwei Kupferdrähte luftdicht hindurch, an welchen unten zwei Platinplatten angelöthet sind, die sich im Wasser in einiger Entfernung gegenüberstehen. Der Theil der Kupferdrähte, welcher sich innerhalb des Gefäßes befindet, so wie die Löthstellen, müssen durch einen Siegellacküberzug vor der Berührung mit der sauren Flüssigkeit geschützt sein.

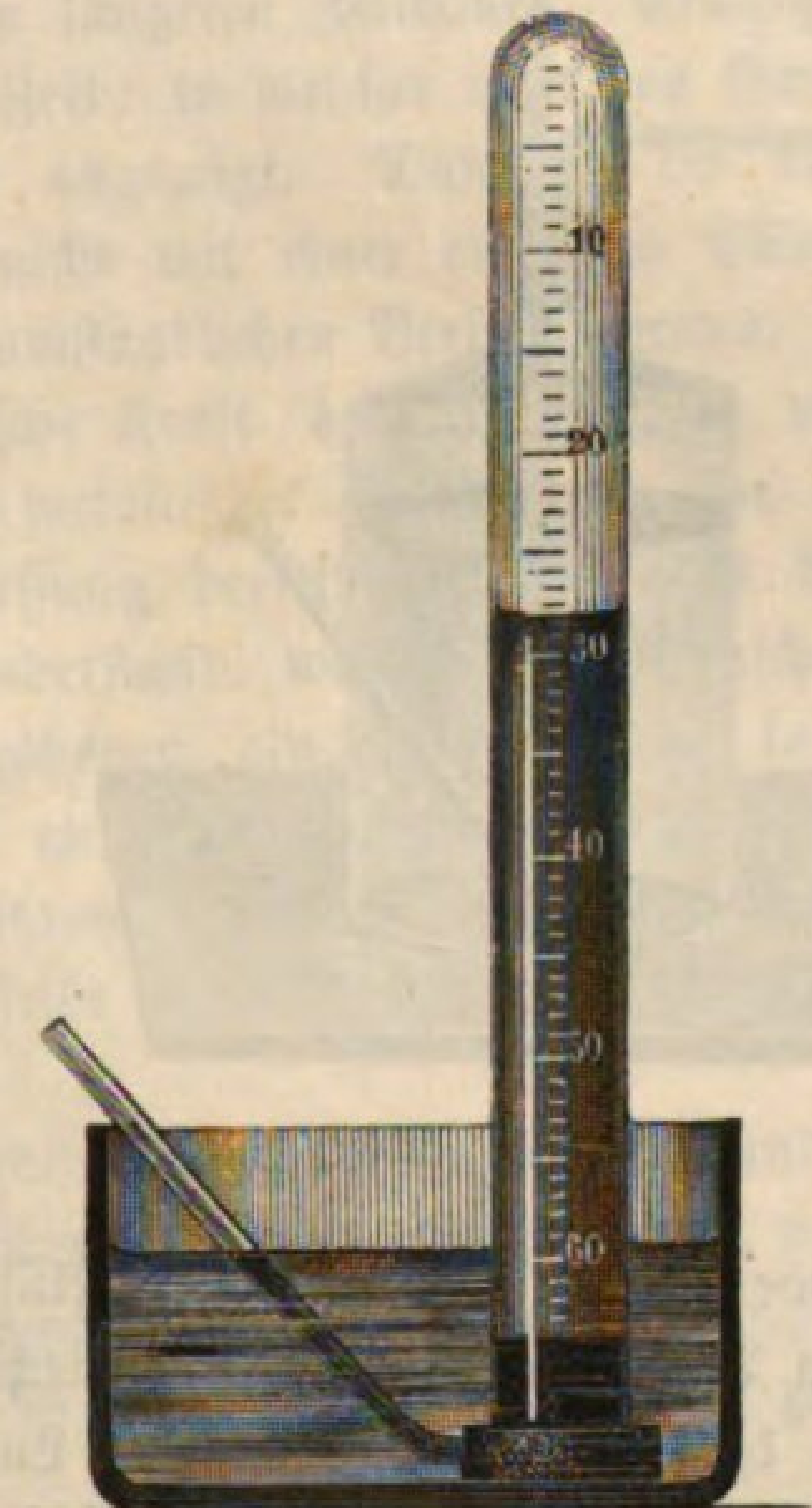
Bringt man die aus dem Korke hervorragenden Enden der Kupferdrähte durch Zuleitungsdrähte mit den Polen der Säule in Verbindung, so geht der Strom durch das Wasser, die gebildeten Gase steigen auf und entweichen durch das gekrümmte Rohr, welches im Korke steckt.

Um die Gase aufzufangen, welche durch das gekrümmte Rohr entweichen, muß man das untere Ende desselben in ein Gefäß mit Wasser tauchen, und dann über die Mündung des gekrümmten Rohres eine mit Wasser gefüllte graduirte Röhre bringen. Die entweichenden Gase steigen als Blasen in den oberen Theil des Rohres, und das Volumen des in einer gegebenen Zeit hier gesammelten Gases kann leicht an der Theilung der Röhre abgelesen werden.

Fig. 205.



Fig. 206.



Um die graduirte Röhre festzuhalten, kann man sich der in Fig. 206 dargestellten Vorrichtung bedienen. Auf den Boden des Gefäßes ist ein Kork aufgekittet, welcher mit einem Einschnitt zur Aufnahme des Rohres versehen ist, durch welches das Gas ausströmt. In Fig. 207 ist dieser Kork, auf welchen das graduirte Rohr aufgesteckt wird, in natürlicher Größe dargestellt.

Fig. 207.



$\frac{1}{1}$

Faraday nannte solche Apparate, welche zur Messung der Stromstärke mittelst Wasserzersetzung dienen, »Voltameter«. Wir wollen diesen Namen beibehalten.

Wenn es auf sehr große Genauigkeit ankommt, muß man das Knallgas nicht über Wasser, sondern über Quecksilber auffangen, und um eine Absorption der entwickelten Gase in der durchströmten Flüssigkeit im Zersetzungsgefäße selbst zu verhindern, muß derselbe nahe bis zu 100° erwärmt sein.

Fig. 208 stellt eine von Mohr angegebene sehr zweckmäßige Form des Voltameters dar. *a* ist die Zersetzungszelle, in welche der Strom durch zwei Platinplatten geleitet wird. Die Flüssigkeit ist verdünnte Schwefelsäure. Das entwickelte Gas wird in die Flasche *b* geleitet, die mit Wasser, Chlorcalciumlösung oder Quecksilber gefüllt sein kann. Die nach zwei Seiten in einem rechten Winkel gebogene Glasröhre *c*, Fig. 209, dreht sich in einem Korke, der dicht in einem Tubulus am Boden der Flasche befestigt ist, mit Reibung um, so daß sie in jeder Lage stehen bleiben kann. Der Ausguß dieser Röhre läuft in dem punktirten Kreise *m*, und kann dadurch jede beliebige Höhe annehmen. Wenn dieser Ausguß auf gleicher Höhe mit dem Niveau der Flüssigkeit in der Flasche steht, so ist die Flasche zum Versuche bereit. Die senkrechte Röhre dient zum Erkennen, ob die Spannung der äußeren und inneren Luft gleich ist; in diesem Falle nämlich steht das Niveau der Flüssigkeit innerhalb dieser Röhre genau in der Ebene des Flüssigkeitsspiegels. Die Beobachtung dieses kleinen Punktes inmitten einer horizontalen Wasserfläche schließt jeden Fehler einer Parallaxe aus. Die Messung findet nun ganz leicht Statt. Man schließt die Kette und bemerkt den Stand der Uhr in diesem Momente. Hat die Wasserzersetzung eine bestimmte Zeit lang fortgedauert, so unterbricht man den Strom, bringt durch Beugen der Röhre *c* noch so viel Wasser zum Ausfließen, daß die Spannung der Luft innen und außen gleich sei, und bestimmt nun die Menge des ausgeflossenen Wassers nach Volumen oder Gewicht.

Fig. 208.

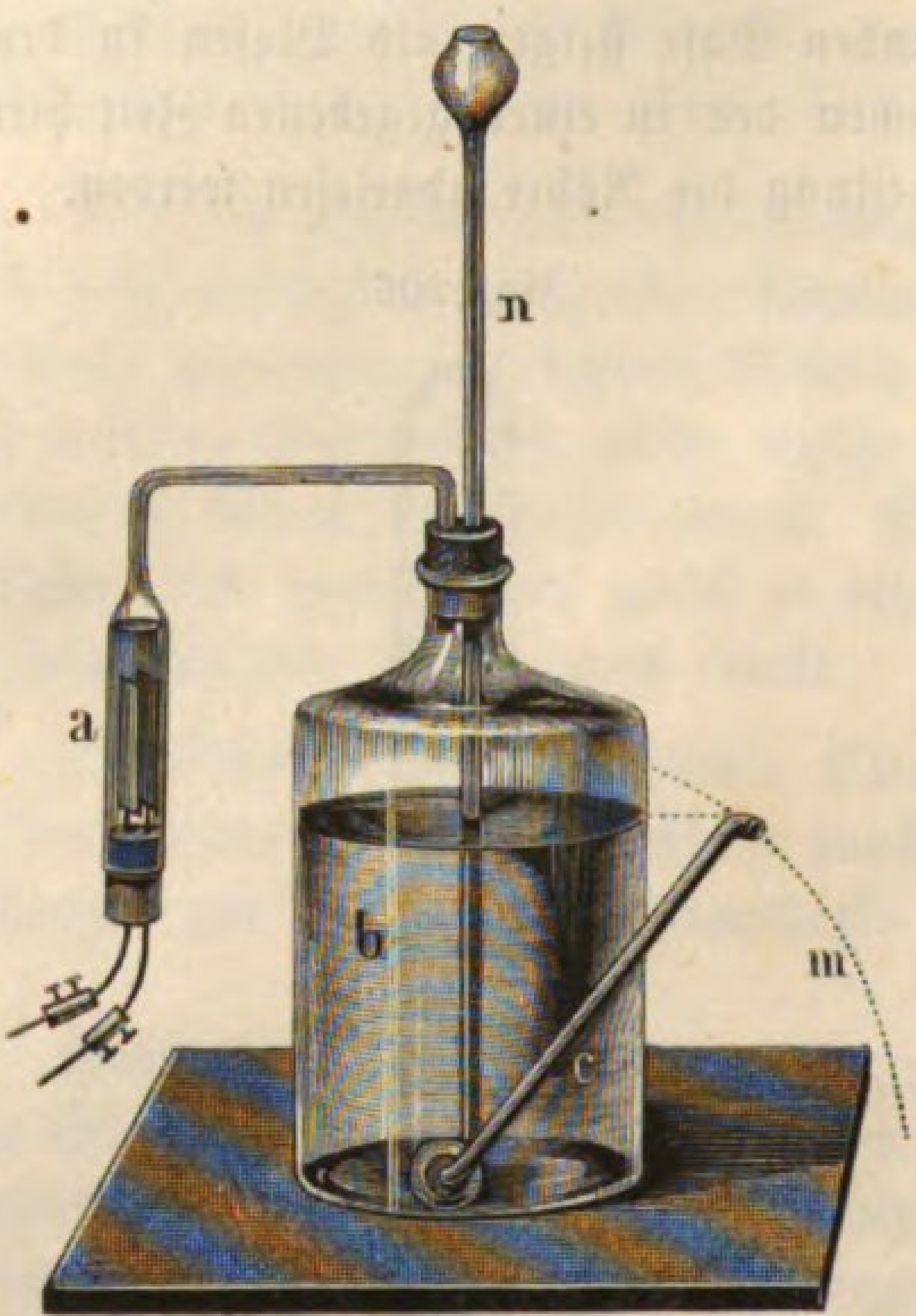


Fig. 209.



Um die gemessenen Gasvolumina vergleichbar zu machen, muß man sie stets auf gleichen Druck und gleiche Temperatur reduciren. Man reducirt die Gasvolumina auf eine Temperatur von 0° und einen Druck von 760 Millimeter Quecksilber.

Wir wollen für die Zukunft nach Jacobi's Vorschlag als **Einheit der Stromstärke einen Strom annehmen, welcher in einer Minute einen Cubikcentimeter Knallgas von der eben bezeichneten Dichtigkeit liefert.**

Wenn man überhaupt alle Instrumente, welche zur Messung der Strom-

stärke dienen, **Rheometer** nennt, so muß man das Voltameter als **elektrochemisches Rheometer** bezeichnen.

Elektromagnetische Rheometer. Obgleich eine galvanische Wasser- 78
zersetzung eine treffliche Einheit für die Stromstärke liefert, so ist doch das Voltameter nur in wenigen Fällen zur Messung derselben anwendbar. Das Voltameter giebt nicht die Stromstärke für einen bestimmten Augenblick an, sondern die mittlere Stromstärke während einer längeren Zeitdauer. Etwaige Schwankungen der Stromstärke während der Zeit, in welcher man das Gas auffängt, werden durch das Voltameter nicht angezeigt. Dann ist die Messung der Stromstärke mittelst des Voltameters nicht mit einer einfachen Ablesung abgethan, sondern sie setzt einen ziemlich umständlichen Versuch voraus. In vielen Fällen endlich, wo die elektromotorische Kraft des Rheomotors unbedeutend ist, man aber doch bei vollkommen metallischer Schließung eine bedeutende Stromstärke erhalten kann, ist die Messung derselben mittelst des Voltameters gar nicht möglich, weil der Leitungswiderstand, welcher durch Einschaltung dieses Instrumentes in den Schließungsbogen eingeführt wird, so bedeutend ist, daß dadurch die Stromstärke oft auf eine unmeßbare Kleinheit zurückgeführt wird; kurz man kann das Voltameter in den meisten Fällen schon deshalb nicht anwenden, weil durch dasselbe die Stromstärke außerordentlich geschwächt wird.

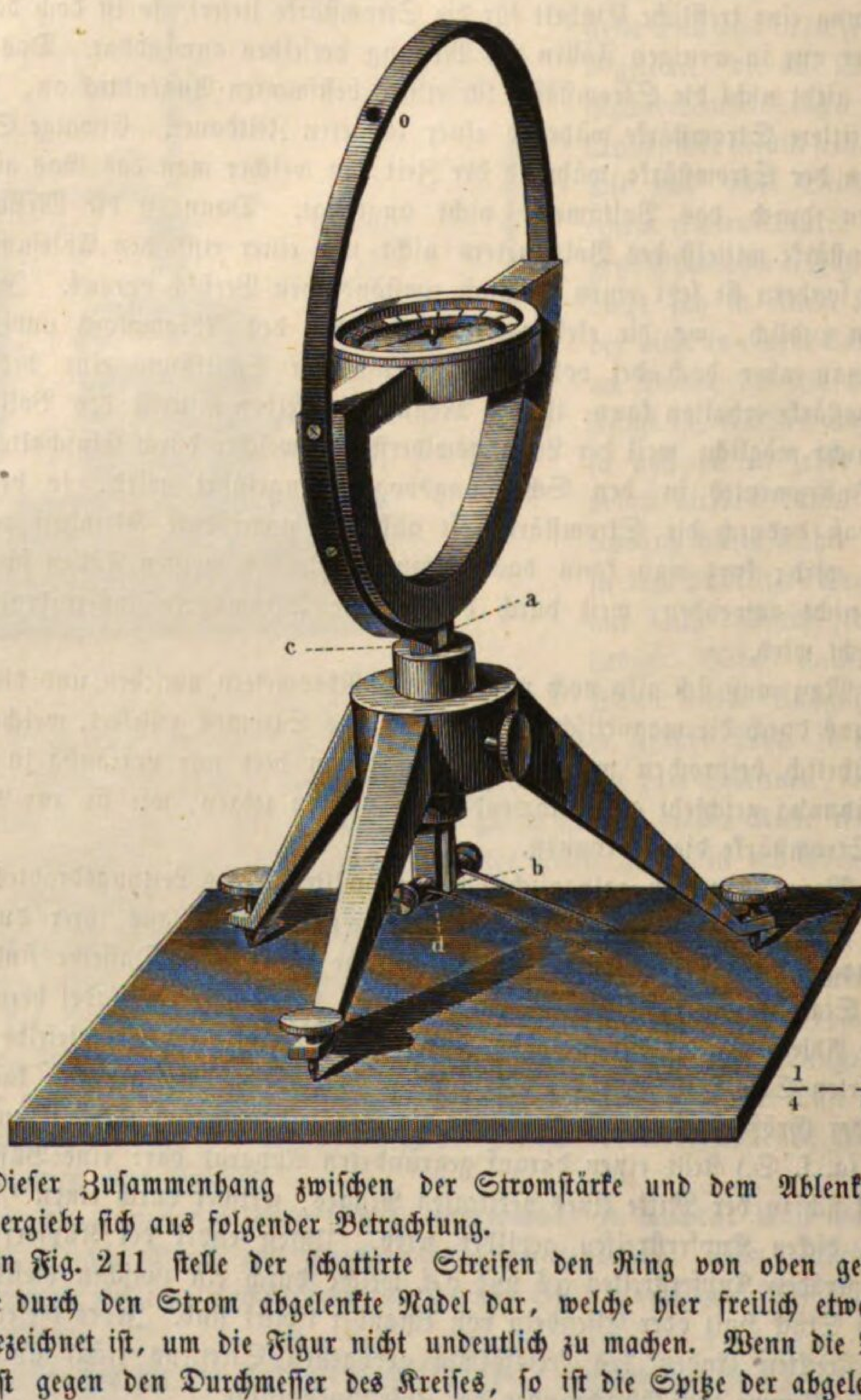
Man muß sich also noch nach anderen Rheometern umsehen, und diese werden uns durch die magnetischen Wirkungen des Stromes geliefert, welche später ausführlich besprochen werden und von denen hier nur vorläufig in so weit Erwähnung geschieht als nothwendig ist, um zu zeigen, wie sie zur Messung der Stromstärke dienen können.

Wenn man den galvanischen Strom mittelst eines Leitungsdrahtes in der Nähe einer Magnetnadel vorbeiführt, so wird dieselbe aus ihrer durch den Erdmagnetismus bedingten Gleichgewichtslage abgelenkt. Dasselbe findet nun auch Statt, wenn man den Strom in einem Kreise um die Nadel herumführt. Diese Ablenkung der Magnetnadel durch einen kreisförmig um dieselbe herumgeführten Strom ist von der Stärke des Stromes abhängig, man kann also aus der Größe dieser Ablenkung auf die Stärke des Stromes schließen. Fig. 210 (a. f. S.) stellt einen darauf gegründeten Apparat dar: eine Bussole befindet sich in der Mitte eines verticalen Ringes, welcher durch einen $^1/_2$ bis 1 Linie dicken Kupferstreifen gebildet wird. Unten endet der Kupferring mit zwei geraden Kupferstreifen *a b* und *c d*, welche durch ein zwischen dieselben gelegtes Stück Holz oder Elfenbein von einander isolirt sind. Jedes dieser gerade ausgestreckten Enden des kreisförmig gebogenen Streifens trägt unten eine Schraubklemme zum Einschrauben der Zuleitungsdrähte.

Der Apparat wird so festgestellt, daß der Kupferring in der Ebene des magnetischen Meridians liegt; natürlich befindet sich in diesem Falle die Nadel in der Verticalebene des Ringes und zeigt auf den Nullpunkt ihrer Theilung; sobald aber ein galvanischer Strom durch den Kupferring geht, wird

die Nadel abgelenkt, und zwar ist die Stärke des Stromes der trigonometrischen Tangente des Ablenkungswinkels proportional, weshalb denn auch dies Instrument den Namen der Tangentenbussole führt.

Fig. 210.



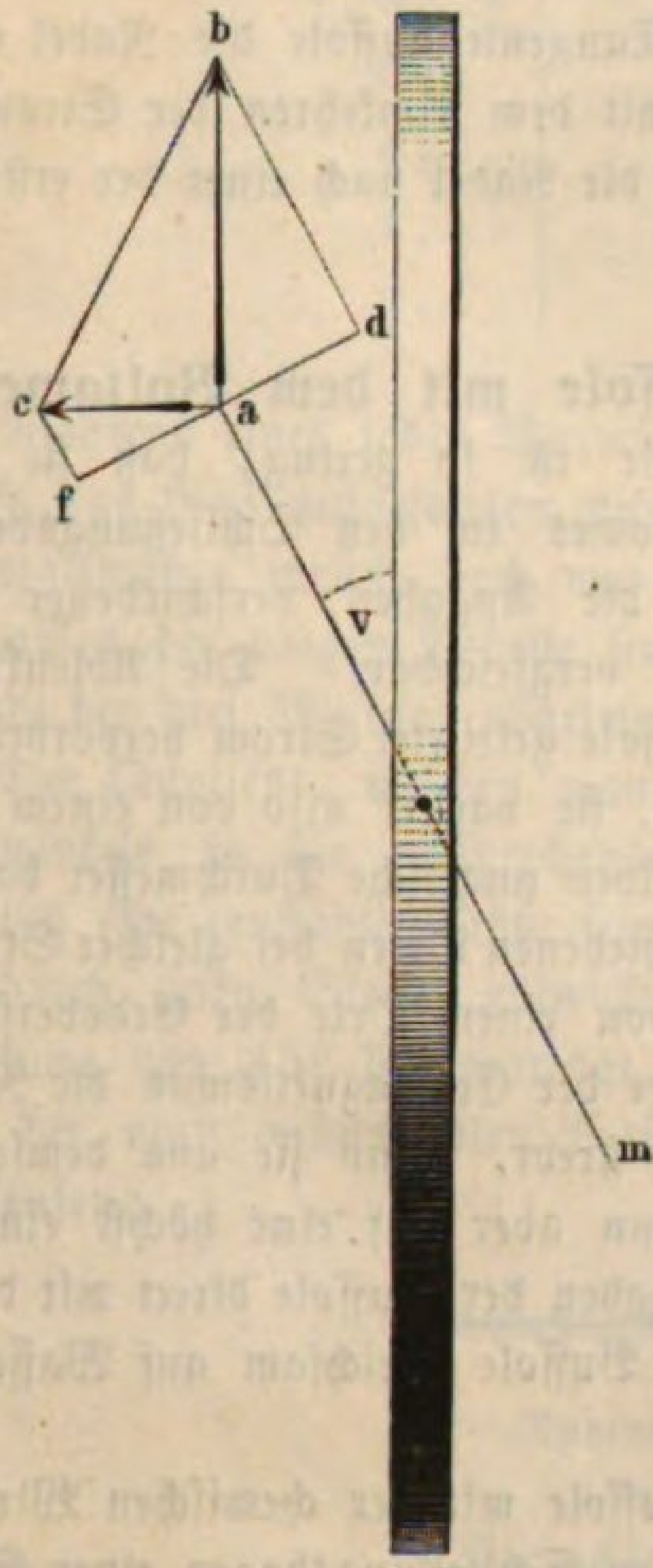
Dieser Zusammenhang zwischen der Stromstärke und dem Ablenkungswinkel ergiebt sich aus folgender Betrachtung.

In Fig. 211 stelle der schattirte Streifen den Ring von oben gesehen, *am* die durch den Strom abgelenkte Nadel dar, welche hier freilich etwas zu groß gezeichnet ist, um die Figur nicht undeutlich zu machen. Wenn die Nadel klein ist gegen den Durchmesser des Kreises, so ist die Spitze der abgelenkten Nadel nicht merklich weiter vom Kupferringe entfernt, als wenn sie gar nicht abgelenkt wäre, man kann also diese Zunahme dieser Entfernung ganz unberücksichtigt lassen.

Es greifen nun aber an der Spitze der Nadel zwei Kräfte an; die magne-

tische Erdkraft ab, in der Richtung des Meridians wirkend, strebt die Nadel in die Ebene des Ringes zurückzuführen, der Strom aber hat ein Bestreben, die Nadel rechtwinklig auf den magnetischen Meridian zu stellen, er wirkt in der Richtung ac auf die Spitze der Nadel. Die rechtwinklig auf die Richtung der Nadel wirkenden Seitenkräfte von ab und ac sind nun ad und af, die Nadel wird in Ruhe sein, wenn $ad = af$. Nun ist Winkel $caf =$ dem Ablenkungswinkel v der Nadel, weil ca auf dem magnetischen Meridian, af auf der Nadel rechtwinklig steht, folglich ist $af = ac . cos. v$. Ferner ist auch der Winkel $abd = v$, weil ab mit dem magnetischen Meridian und bd mit der Nadel parallel ist, und demnach ist $ad = ab . sin. v$; da aber für den Fall des Gleichgewichts $ad = af$, so ist $ac . cos. v = ab . sin. v$ oder $ac = ab . tang. v$, oder endlich

Fig. 211.



$$S = R . tang. v,$$

wenn man mit S die Stromkraft ac, mit R die magnetische Erdkraft ab bezeichnet. Es ist also bei diesem Instrumente in der That die Stromkraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional, wie bereits oben bemerkt wurde.

Die Magnetnadel kann etwa 1 bis $1^1/_2$ Zoll lang sein und der Durchmesser des Ringes 8 bis 16 Zoll betragen.

Die Länge der Nadel darf höchstens $^1/_4$ oder $^1/_5$ des Ringdurchmessers betragen; je kleiner sie im Vergleich zu diesem ist, desto genauer ist die Stromkraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional. Je kleiner aber die Nadel wird, desto kleiner wird auch die Theilung, auf welcher man die Ablenkung abliest, wenn der Radius des getheilten Kreises der halben Länge der Nadel gleich ist. Um aber, wenn große Genauigkeit gefordert wird, eine kleine Nadel mit einem großen Theilkreise zu verbinden, befestigt man an die Nadel feine Glasfäden, wo möglich von dunkelfarbigem Glase, so daß sie in der Verlängerung der magnetischen Axe der Nadel liegen und bis zu der Theilung hinreichen.

Eine sehr genaue Ablesung wird auch dadurch möglich, daß der Boden der Bussole ein Spiegel ist; das Auge ist nur dann in der zum Ablesen richtigen Stellung, wenn die Spitze der Nadel mit ihrem Spiegelbilde zusammenfällt. Um die Nadel gehörig auf den Nullpunkt einstellen zu können, ist bei 0, Fig. 210, ein Loch in den Kupferring gemacht, durch welches man von oben auf die Nadel herabsieht.

Was die Richtung betrifft, nach welcher die Magnetnadel in der Tangentenbussole abgelenkt wird, so ist sie stets durch das folgende einfache Gesetz bestimmt: Das Südende der Nadel tritt stets nach der Seite der Ebene des stromleitenden Ringes hervor, von welcher aus gesehen der Strom in gleicher Richtung kreist, wie der Zeiger einer Uhr.

Wir werden auf dieses Gesetz später noch ausführlicher zurückkommen.

Ist durch einen Strom im Ringe der Tangentenbussole die Nadel nach einer Seite hin abgelenkt worden, so wird mit dem Umkehren der Stromesrichtung im Ringe der Tangentenbussole auch die Nadel nach einer der ersteren entgegengesetzten Seite abgelenkt werden.

79 Vergleichung der Tangentenbussole mit dem Voltameter.

Der Leitungswiderstand der Tangentenbussole ist so gering, daß sie fast immer ohne merkliche Schwächung des Stromes in den Schließungsbogen eingeschaltet werden kann. Dagegen sind die Angaben verschiedener Instrumente der Art nicht direct mit einander vergleichbar. Die Ablenkung, welche ein durch den Ring einer Tangentenbussole geleiteter Strom hervorbringt, ändert sich mit dem Durchmesser dieses Ringes, sie variirt also von einem Instrumente zum anderen, wenn die Ringe derselben ungleiche Durchmesser haben. Ja ein und dasselbe Instrument wird an verschiedenen Orten bei gleicher Stromstärke nicht gleiche Ablenkung geben, weil von einem Orte der Erdoberfläche zum anderen die Kraft sich ändert, mit welcher der Erdmagnetismus die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuziehen strebt, wenn sie aus demselben entfernt worden ist. Diesem Uebelstande kann aber auf eine höchst einfache Weise abgeholfen werden, indem man die Angaben der Bussole direct mit denen eines Voltameters vergleicht, wenn man die Bussole gleichsam auf Wasserzersetzung aicht.

Um die Ablenkungen einer Tangentenbussole mit der chemischen Wirkung des Stromes zu vergleichen, muß man in den Schließungsbogen einer Säule gleichzeitig die Tangentenbussole und das Voltameter einschalten und die durch den Strom in beiden Instrumenten hervorgebrachten Wirkungen mit einander vergleichen. Eine solche Versuchsreihe, bei welcher als Rheomotor eine aus Bunsen'schen Bechern gebildete Säule angewendet wurde, gab folgende Resultate:

Zahl der Erregungszellen.	Ablenkung.	Entwickelte Gasmengen in 3 Minuten.
12 . . .	28,5	125 Cub.-Cent.
8 . . .	24,8	106
6 . . .	22,0	92,5
4 . . .	18,75	78
3 . . .	13,75	56
2 . . .	5,9	23,7

Während eines jeden Versuches, d. h. während der drei Minuten, innerhalb welcher das Gas aufgefangen wurde, schwankte die Nadel nur sehr wenig; sie ging regelmäßig zurück, doch war der Rückgang in 3′ höchstens $1/2$ Grad; die Gradzahlen der obigen Tabelle sind stets das Mittel aus den zu Anfang und zu Ende der drei Minuten abgelesenen Winkeln.

Der Quotient, welchen man erhält, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels in die entsprechende Gasmenge einer Minute dividirt, sollte eigentlich eine constante Größe sein, welche angiebt, wie viel Gas in der Minute durch einen Strom entwickelt wird, der an der Tangentenbussole eine Ablenkung von 45⁰ hervorbringt (weil $tang.\ 45^0 = 1$). Aus den verschiedenen der oben mitgetheilten Versuche ergiebt sich nun folgender Werth dieses Quotienten:

Nummer der Beobachtung.	Quotient.
1 . . .	76,7
2 . . .	76,5
3 . . .	76,2
4 . . .	76,6
5 . . .	76,3
6 . . .	76,6
Mittel . . .	76,5

Während dieser Versuche war die Temperatur im Zimmer 15⁰ C. und der Barometerstand betrug 744 Millimeter. Als das Volumen des Gases an der graduirten Röhre abgelesen wurde, stand der Wasserspiegel in der Röhre unge-

fähr 10 Centimeter höher als Außen, was einer Druckhöhe von 7 Millimeter Quecksilber entspricht. Das Gas stand also unter einem Drucke von 737 Millimeter. Auf die Temperatur von 0° und einen Druck von 760 Millimeter reducirt, ist demnach die einer Ablenkung von 45° entsprechende Gasmenge gleich 70 Kubikcentimeter.

Nach chemischem Maß ist also die Stärke eines Stromes, welcher an jener Tangentenbussole eine Ablenkung von v^0 hervorbringt

$$S = 70 \, . \, tang. \, v.$$

Gesetzt also z. B. ein Strom brächte an unserer Tangentenbussole eine Ablenkung von 54° hervor, so würde dieser Strom, wenn er in gleicher Stärke durch ein Voltameter ginge, $70 \, . \, tang. \, 54^0 = 70 \times 1{,}376 = 96{,}32$ Kubikcentimeter Knallgas von 0° und einem Druck von 760 Millimeter geliefert haben.

Hat man einmal nach der eben erwähnten Methode den Reductionsfactor einer Tangentenbussole ermittelt, so kann man mittelst desselben jede an derselben gemachte Beobachtung leicht in chemischen Effect umsetzen oder, mit anderen Worten, nach dem an der Tangentenbussole abgelesenen Winkel die Stromstärke in chemischem Maße ausgedrückt angeben.

Es versteht sich von selbst, daß dieser Reductionsfactor immer nur für ein specielles Exemplar einer Tangentenbussole gelten kann, und daß er selbst für dieses specielle Instrument nur so lange gilt, als man die Versuche an demselben Orte anstellt. Brächte man z. B. die Bussole von Freiburg nach Marburg, so würde der Reductionsfactor einen geringeren Werth erhalten, weil die horizontale Intensität des Erdmagnetismus in Marburg geringer ist als in Freiburg.

In gleicher Weise, wie dies eben für die Tangentenbussole geschehen ist, kann man auch jedes andere elektromagnetische Rheometer, z. B. eine Sinusbussole, mit den Angaben des Voltameters vergleichen.

Die oben angeführten Zahlen machen keinen Anspruch auf große Genauigkeit, sie sollen nur als Erläuterungsbeispiele dienen. Da das Wasser mehr oder weniger von den im Voltameter entwickelten Gasen absorbirt, so ist nur dann ein vollkommen genaues Resultat zu erwarten, wenn das gesäuerte Wasser ungefähr bis 100° erwärmt ist und man die entwickelten Gase über Quecksilber auffängt.

80 **Experimentelle Bestätigung des Ohm'schen Gesetzes.** Um das Ohm'sche Gesetz durch Versuche zu prüfen, muß man constante Rheomotoren, also Bunsen'sche, Grove'sche oder Daniell'sche (Becquerel'sche) Becher anwenden. Die zunächst folgenden Versuche sind mit Daniell'schen Bechern angestellt worden.

Um zu bestimmen, nach welchem Gesetze die Stromstärke abnimmt, wenn der Schließungsbogen verlängert wird, läßt man zuerst den Strom unmittelbar durch die Tangentenbussole gehen, dann aber schaltet man der Reihe nach gleich

dicke Drahtstücke von 5, 10, 40, 70 und 100 Meter Länge ein. Um die längeren Drähte bequem anwenden zu können, müssen sie mit Seide übersponnen und zusammengewunden sein.

Eine Versuchsreihe der Art, bei welcher ein einziger Daniell'scher Becher als Elektromotor diente, gab folgende Resultate:

Länge des eingeschalteten Kupferdrahtes.	Beobachtete Ablenkung.	Tangente des Ablenkungswinkels.
0 Meter	62° 00′	1,880
5	40 20	0,849
10	28 30	0,543
40	9 45	0,172
70	6 00	0,105
100	4 15	0,074

Man sieht hier gar keine Regelmäßigkeit in der Abnahme, welche die Stromstärke erleidet, wenn der eingeschaltete Draht länger wird; wenn man aber bedenkt, daß dieser Draht nicht das einzige Hinderniß für den Strom ist, daß in dem elektromotorischen Apparate selbst und in den verschiedenen Theilen der Bussole, welche der Strom durchläuft, ein Leitungswiderstand überwunden werden muß, was wir als Widerstand des Elementes bezeichnen wollen, so ist klar, daß man den Widerstand des Elementes gleichsetzen kann dem Widerstand eines Kupferdrahtes von derselben Dicke wie der eingeschaltete und von der noch unbekannten Länge x; eigentlich also sind folgende die zusammengehörigen Längen der Kette und Ablenkungswinkel:

Länge der Kette.	Beobachtete Ablenkung.	Tangente des Ablenkungswinkels.
x	62° 00′	1,880
x + 5	40 20	0,849
x + 10	28 30	0,543
x + 40	9 45	0,172
x + 70	6 00	0,105
x + 100	4 15	0,074

Wenn sich nun die Stärke der hydroelektrischen Ströme wirklich umgekehrt verhält wie die Länge der Kette, so müssen sich die Zahlen der ersten Columne umgekehrt verhalten wie die Zahlen der letzten, es muß also sein

$$x : x + 5 = 0{,}849 : 1{,}880,$$

woraus sich ergiebt $x = 4{,}11$. Vergleicht man auf dieselbe Weise die erste Beobachtung mit allen folgenden, so muß man immer gleichen Werth für x erhalten, und in der That sind die auf diese Weise berechneten Werthe von x sehr nahe einander gleich; man findet nämlich außer dem schon berechneten 4,06, 4,03, 4,14 und 4,09 Meter. Das Mittel daraus ist 4,08.

Der Widerstand des Elementes war also in diesem Falle gleich dem Widerstande eines 4,08 Meter langen Kupferdrahtes von derselben Dicke wie der eingeschaltete. Legt man diese Länge zu Grunde, so kann man nach dem allgemeinen Gesetze, daß sich die Stärke des Stromes umgekehrt verhält wie die Länge der Kette, leicht die Ablenkungen berechnen, welche man hätte erhalten müssen, und diese mit den direct beobachteten vergleichen, wie dies in der folgenden Tabelle geschehen ist.

Länge der Kette.	Berechnete Ablenkung.	Beobachtete Ablenkung.	Differenz.
4,08 Meter.	62° 00′	62° 00	
9,08	40 18	40 20	+ 2′
14,08	28 41	28 30	− 11
44,08	9 56	9 45	− 11
74,08	5 57	6 00	+ 3
104,08	4 14	4 15	+ 1

Eine solche Uebereinstimmung zwischen den Resultaten der Beobachtung und denen, die man aus dem allgemeinen Gesetz abgeleitet hat, läßt keinen Zweifel mehr über die Richtigkeit dieses Gesetzes für hydroelektrische Ströme.

In der eben angegebenen Weise wurde der Widerstand von sechs einander möglichst gleichen Daniell'schen Bechern ermittelt. Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuchsreihe.

Nummer der Elemente	Drahtlängen, welche zu jedem Element hinzugefügt worden waren	Beobachtete Ablenkung	Tangente des Ablenkungswinkels	Widerstand des Elementes
1	0m	69° »'	2,600	Meter
	5	43 20	0,943	2,85
	10	30 »	0,577	2,85
	40	11 »	0,194	3,20
			Mittel . . .	2,97
2	0	66 30	2,300	» »
	5	43 »	0,933	3,41
	10	29 40	0,570	3,35
	40	10 40	0,488	3,55
			Mittel . . .	3,44
3	0	67 40	2,434	» »
	5	42 30	0,916	3,02
	10	29 40	0,570	3,05
	40	10 20	0,182	3,23
			Mittel . . .	3,10
4	0	67 »	2,355	» »
	5	42 30	0,909	3,19
	10	29 40	0,570	3,19
	40	10 20	0,482	3,55
			Mittel . . .	3,25
5	0	68 »	2,475	» »
	5	43 20	0,943	3,08
	10	30 30	0,589	3,13
	40	11 »	0,194	3,40
			Mittel . . .	3,21
6	0	64 »	2,050	» »
	5	41 »	0,869	3,68
	10	28 40	0,548	3,64
	40	10 »	0,176	3,57
			Mittel . . .	3,69

Die letzte Columne drückt aus, wie lang ein Draht von der zur Einschaltung angewandten Dicke sein müßte, um denselben Leitungswiderstand hervorzubringen wie der, welcher zu überwinden ist, wenn der Rheomotor nur durch die Tangentenbussole geschlossen ist.

Die einzelnen Becher hatten also fast gleiche Stärke, nur der sechste war

etwas schwächer. Zu einer Säule verbunden, gaben sie einen Strom, welcher einen Platindraht von $^1/_4$ Millimeter Dicke und mehr als 20 Centimeter Länge fortdauernd glühend erhalten konnte. Ließ man nun diesen Strom durch die Tangentenbussole gehen, so erhielt man bei Einschaltung verschiedener Längen von Kupferdraht folgende Resultate:

Länge des eingeschalteten Drahtes.	Beobachtete Ablenkung.	Tangente des Ablenkungswinkels.	Widerstand der Säule.
0 Meter	68° 30′	2,538	Meter
5	63 20	1,991	18,20
10	58 30	1,632	19,03
40	39 0	0,810	18,01
70	28 0	0,532	18,56
100	21 30	0,394	18,38
		Mittel...	18,43

Die sechs Elemente zusammen leisten also mit der Tangentenbussole einen Leitungswiderstand wie ein 18,43 Meter langes Stück des eingeschalteten Drahtes; der Widerstand der Säule ist also nahezu 6mal so groß als der eines einzelnen Bechers.

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß, übereinstimmend mit dem Ohm'schen Gesetz, die sechs Becher, nur durch die Tangentenbussole geschlossen, eine Ablenkung geben, welche nicht größer ist als diejenige, welche ein einziges nur durch die Tangentenbussole geschlossenes Element giebt. Schaltet man aber einen langen Draht ein, so daß der Widerstand im Schließungsbogen bedeutend wird, so wird durch Vermehrung der Elemente auch die Stromstärke vergrößert. Als ein 40 Meter langer Draht eingeschaltet war, betrug die Ablenkung 39° für die Säule von sechs Bechern, während sie nur 10 bis 11° für einen einzelnen Becher war.

Endlich zeigen diese Versuche, daß auch hier die Stromstärke dem allgemeinen Gesetze unterworfen bleibt, daß sich nämlich die Stromstärke umgekehrt verhält wie die Gesammtlänge der zu durchlaufenden Kette (für jedes einzelne Element ist natürlich seine reducirte Länge in Rechnung zu bringen).

81 **Leitungswiderstand der Metalle.** Bei den bisher besprochenen Versuchen wurden Drahtstücke von verschiedener Länge in den Schließungsbogen der Kette eingeschaltet und dadurch das Verhältniß der Stromstärke zur Länge des Schließungsdrahtes ermittelt; jetzt kommt es darauf an, zu untersuchen, wie sich der Leitungswiderstand der Drähte zu ihrem Durchmesser verhält. Wenn man einen in den Schließungsbogen der Säule eingeschalteten Draht mit einem anderen aus demselben Material verfertigten vertauscht, welcher 2, 3, 4 u. s. w. mal so dick ist, so muß man ein 4, 9, 16 u. s. w. mal so langes

Drahtstück anwenden, wenn der Stand der Tangentenbussole unverändert bleiben soll. Daraus folgt, daß zwei Drähte desselben Metalles gleichen Leitungswiderstand ausüben, wenn sich ihre Längen verhalten wie ihre Querschnitte.

Um den Leitungswiderstand verschiedener Metalle mit einander zu vergleichen, ist wohl keine Methode einfacher und sicherer, als den Strom eines hinlänglich kräftigen Elementes durch die Tangentenbussole zu leiten, Drähte verschiedener Metalle in den Schließungsbogen einzuschalten und die entsprechenden Ablenkungen zu beobachten.

Ganz außerordentlich wird die Bestimmung des Leitungswiderstandes durch ein Instrument erleichtert, welches unter dem Namen des Rheostaten bekannt ist; sein Zweck ist, nach Belieben den Leitungswiderstand im Schließungsbogen jeden Augenblick vermehren und vermindern zu können, ohne die Kette zu öffnen.

Solche Instrumente sind von Wheatstone, Jacobi und Petrina construirt worden; Fig. 212 und Fig. 213 stellen eine der zweckmäßigsten im

Fig. 212.

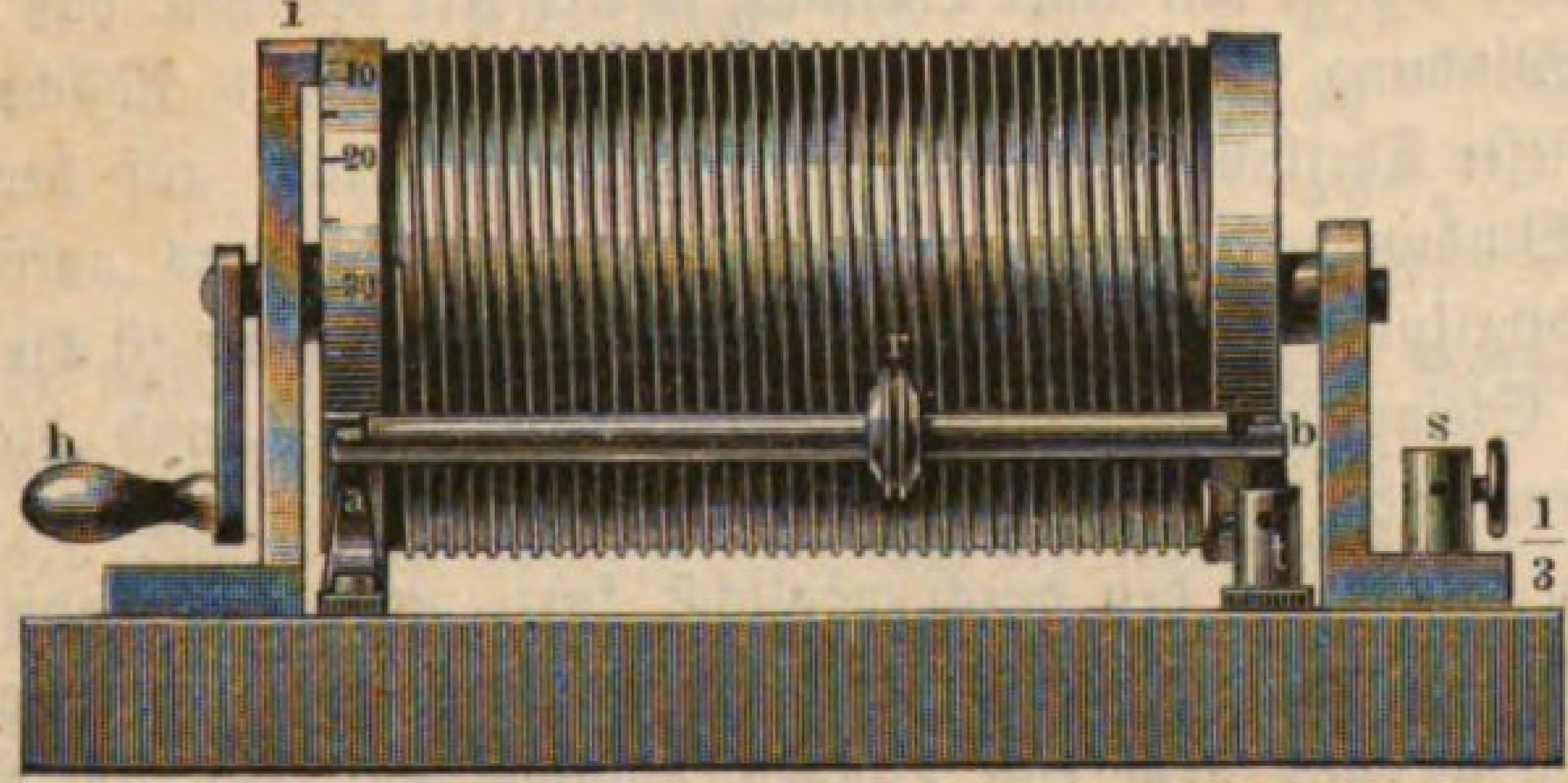
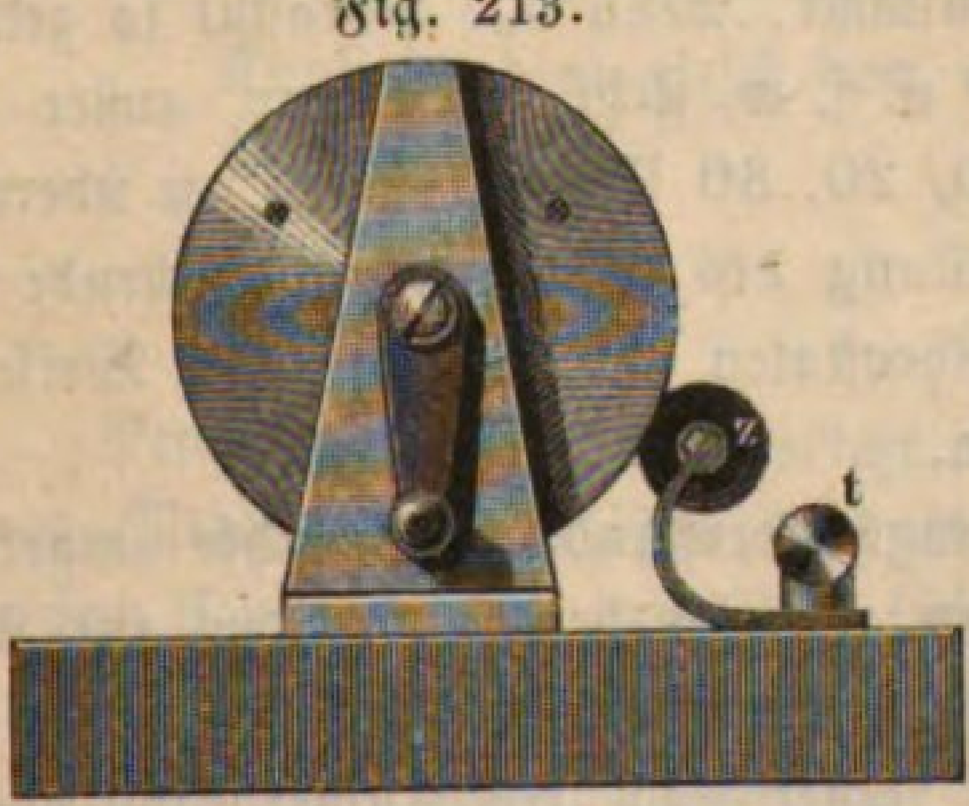


Fig. 213.



Wesentlichen von Wheatstone herrührenden Formen des Rheostats dar. Auf eine Walze von Serpentin oder Marmor ist eine Schraubenlinie ganz flach eingeschnitten und auf diese ein Metalldraht (Kupfer, wenn es sich um geringere, Neusilber, wenn es sich um bedeutendere Widerstände handelt) von $^1/_2$ bis $^3/_4$ Millimeter Durchmesser aufgewickelt, dessen Ende, auf der rechten Seite in die Masse des Cylinders eintretend, bis zur metallenen Axe desselben fortgeführt und hier aufgelöthet ist.

Gegen diesen Schraubendraht wird nun ein messingenes Röllchen *r* angedrückt, welches mit einer, der Dicke des Drahtes entsprechenden Rinne versehen ist. Es ist auf einem Metallstab *ab* verschiebbar, welcher an seinen beiden Enden auf starke Federn aufgeschraubt ist, die ihn gegen den Serpentincylinder hin

drücken, wie dies aus Fig. 213 deutlicher zu ersehen ist, welche den Apparat, von der Seite der Kurbel *h* aus gesehen, darstellt.

Es ist nun klar, daß wenn die Kurbel *h* gedreht wird, alsdann die Rolle *r* den Schraubenwindungen des Drahtes folgend, auf dem Stäbchen *a b* nach der einen oder nach der anderen Seite fortgeschoben wird, je nachdem man die Kurbel nach der Rechten oder nach der Linken dreht.

Wenn nun dies Instrument in der Weise in den Schließungsbogen eines galvanischen Rheomotors eingeschaltet wird, daß der eine Zuleitungsdraht in das Messingsäulchen bei *s*, der andere in das Messingsäulchen bei *t* eingeschraubt wird, so gelangt der bei *s* eintretende Strom von da durch den messingenen Träger zur metallenen Axe des Steincylinders (die aber nicht durchgeht), von diesen auf den Draht, welcher auf diesen Cylinder aufgewickelt ist und durchläuft dessen Windungen bis zur Rolle *r*, von welchen er dann über *b* zum Messingsäulchen *t* gelangt. Je nachdem man also durch Drehen mittelst der Kurbel *h* das Röllchen an eine andere Stelle des Drahtes bringt, kann man bewirken, daß der Strom eine größere oder geringere Anzahl von Windungen dieses Drahtes durchläuft.

Der Stab *a b* ist mit einer Theilung in der Art versehen, daß jeder Theilstrich einer Windung des Drahtes entspricht und daß das Röllchen auf dem Nullpunkt dieser Theilung steht, wenn seine Rinne gerade auf dem Anfangspunkte der Windungen, auf der rechten Seite des Cylinders aufsitzt. — Um noch Unterabtheilungen der Windungen ablesen zu können, ist die messingene Fassung des Steincylinders in 100 gleiche Theile getheilt und diese Theilung wird an einem Index bei *i* abgelesen.

Nehmen wir an, in den durch möglichst kurze und dicke Kupferdrähte hergestellten Schließungsbogen irgend eines Rheomotors, etwa eines einfachen Zinkkohlenbechers, sei nur noch eine Tangentenbussole und das auf Null gestellte Rheostat Fig. 212 eingeschaltet, so wird die Tangentenbussole eine gewisse Ablenkung zeigen, welche mehr und mehr abnimmt, wenn das Rheostat so gedreht wird, daß das Röllchen *r* auf 10, 20, 30 u. s. w. steht, weil nun außer dem anfänglichen Widerstande noch der von 10, 20, 30 Umwindungen zu überwinden ist. Wenn man die einer jeden Stellung des Röllchens entsprechende Ablenkung notirt, so lassen sich mit dem Rheostaten auf die bequemste Weise die auf S. 195 entwickelten Gesetze nachweisen.

Um zu beweisen, daß sich die Leitungswiderstände der Drähte umgekehrt verhalten wie ihre Querschnitte, stelle man zunächst den Rheostaten auf Null. Die entsprechende Ablenkung betrug bei einem derartigen Versuch $51{,}5^0$.

Als nun in den Schließungsbogen ferner noch ein Kupferdraht von 5 Meter Länge und 0,26 Linie Durchmesser eingeschaltet wurde, ging die Nadel auf 37^0 zurück. (Um solche Drähte bequem handhaben zu können, windet man sie am besten auf einen trockenen Holzcylinder, in welchem ein Schraubengewinde eingeschnitten ist.)

Nachdem man den Draht wieder entfernt und die Kette wieder geschlossen hatte, stellte sich die Nadel wieder auf die ursprüngliche Stelle (in unserem Bei-

spiel $51\frac{1}{2}^0$), und um zu machen, daß sie wieder auf 37^0 zurückging, mußte man durch Drehung des Rheostaten das Röllchen um 4,2 Windungen voranschieben. Es ist nun klar, daß der eingeschaltete Kupferdraht denselben Widerstand hervorbringt, wie 4,2 Windungen des Drahtes auf dem Rheostaten.

Wiederholt man nun denselben Versuch mit einem Kupferdraht, der eben so lang ist wie der eben betrachtete, aber von halb so großem Durchmesser, so wird man finden, daß dieser dünnere Kupferdraht einen eben so großen Widerstand ausübt, wie $16\frac{3}{4}$ Windungen des Drahtes auf dem Rheostat; der Widerstand des halb so dicken Kupferdrahtes ist also 4mal größer.

Um den Leitungswiderstand verschiedener Metalle zu vergleichen, kann man den Versuch in der Weise anordnen, wie es in folgendem Beispiel der Fall war.

Das Rheostat auf 0 gestellt, gab die Bussole einen Ausschlag von $51\frac{1}{2}^0$. Es wurde nun der Reihe nach eingeschaltet ein Kupfer-, ein Eisen-, ein Messing- und ein Neusilberdraht. Alle waren 5 Meter lang und hatten einen Durchmesser von 0,26''' (alle waren durch dasselbe Loch gezogen). Die Nadel ging zurück beim

Kupferdraht auf	37^0
Messingdraht	19
Eisendraht	$12\frac{3}{4}$
Neusilberdraht	$6\frac{3}{4}$

Wurde nun die Kette wieder ohne Einschaltung von Drähten geschlossen, so mußte man durch Drehen des Rheostaten das Röllchen um

4,2	Windungen	voranschieben,	um	die	Nadel	auf	37^0	zu	bringen
16,6	»	»	»	»	»	»	19	»	»
29,5	»	»	»	»	»	»	$12\frac{3}{4}$	»	»
65	»	»	»	»	»	»	$6\frac{3}{4}$	»	»

Es ist also der Widerstand des

Kupferdrahtes	gleich	dem	von	4,2	Windungen	des Rheostaten
Messingdrahtes	»	»	»	16,6	»	»
Eisendrahtes	»	»	»	29,5	»	»
Neusilberdrahtes	»	»	»	65	»	»

Nennt man die Zahl, welche angiebt, wie vielmal der Leitungswiderstand eines Metalldrahtes größer ist, als der Widerstand eines Kupferdrahtes von gleichen Dimensionen, den specifischen Leitungswiderstand des Metalles, so ergeben sich aus den oben mitgetheilten Messungen folgende Werthe für den specifischen Leitungswiderstand des

Messings	3,95
Eisens	7,02
Neusilbers	15,47

Nach Pouillet's Versuchen, die jedoch nach einer anderen Methode angestellt worden waren, ist Folgendes der specifische Leitungswiderstand der verschiedenen Metalle:

Silber	0,73
Gold	0,97
Kupfer.	1,00
Zink	3,57 (Becquerel)
Platin	4,54
Eisen	5,88
Quecksilber	38,46

Rieß hat nach der auf S. 136 angedeuteten Methode den specifischen Leitungswiderstand der Metalle folgendermaßen bestimmt:

Silber.	0,67
Kupfer	1,00
Messing	3,57
Eisen	5,88
Platin	6,66
Neusilber	11,33

Um das Leitungsvermögen des Quecksilbers zu bestimmen, wandte Pouillet statt des Drahtes eine vollkommen cylindrische, mit Quecksilber gefüllte Glasröhre an, deren Durchmesser man durch Wägung ermitteln kann und deren Enden in Glasgefäße münden, die gleichfalls mit Quecksilber gefüllt sind.

Nehmen wir nach Jacobi's Vorschlag als Einheit des Leitungswiderstandes denjenigen Widerstand an, welchen 1 Meter Kupferdraht von 1 Millimeter Durchmesser dem Durchgange des Stromes entgegensetzt, so ist l der Widerstand eines Kupferdrahtes von gleichem Durchmesser, dessen Länge aber l Meter beträgt. Der Leitungswiderstand eines Kupferdrahtes von l Meter Länge, dessen Durchmesser d Millimeter beträgt, ist aber $\frac{l}{d^2}$. Bezeichnen wir den Leitungswiderstand eines Drahtes von der Länge l, dem Durchmesser d, welcher aus einem Metall gemacht ist, dessen specifischer Leitungswiderstand gleich s ist, mit R, so ist

$$R = s \cdot \frac{l}{d^2}.$$

So ist z. B., in jener Einheit ausgedrückt, der Widerstand eines Eisendrahtes von 12 Meter Länge und 0,5 Millimeter Durchmesser

$$R = 5{,}88 \, \frac{12}{0{,}25} = 282,$$

d. h. sein Leitungswiderstand ist so groß wie der von 282 Meter eines 1 Millimeter dicken Kupferdrahtes.

Um den Leitungswiderstand eines bestimmten Drahtstücks experimentell zu bestimmen, kann man folgendermaßen verfahren. In den Schließungsbogen eines constanten Bechers oder einer aus mehreren constanten Bechern zusammengesetzten Säule, welcher aus kurzen, möglichst dicken Kupferdrähten besteht, schalte man die Tangentenbussole ein und beobachte die entsprechende Ablenkung. Dann schalte man nach einander einmal einen Draht von bekanntem Wider-

stande und dann den Draht ein, dessen Widerstand ermittelt werden soll, und beobachte jedesmal die entsprechende Ablenkung. Aus diesen Beobachtungen läßt sich dann nach dem Ohm'schen Gesetze der Widerstand des fraglichen Drahtes ermitteln. Folgendes Beispiel mag das Gesagte erläutern.

In dem Schließungsbogen einer Säule von sechs Daniell'schen Bechern wurde die Tangentenbussole eingeschaltet und man beobachtete eine Ablenkung von 43,2°.

Nach dem Ohm'schen Gesetze haben wir also

$$tang.\ 43^0\ 12' = 0{,}939 = \frac{E}{r} \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ 1)$$

wenn E die elektromotorische Kraft und r den Leitungswiderstand in der Säule bezeichnet.

Nun wurde ein Draht eingeschaltet, dessen Widerstand, durch obige Einheit gemessen, gleich 35 war; die Nadel ging auf 26,8° zurück, es ist also

$$tang.\ 26{,}8 = 0{,}505 = \frac{E}{r + 35} \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ 2)$$

durch Combination der Gleichungen 1) und 2) läßt sich E und r numerisch bestimmen; es ergiebt sich

$$r = 40{,}7 \text{ und } E = 38{,}22.$$

Als darauf dieser Draht entfernt und statt dessen der zu bestimmende Draht eingeschaltet wurde, stellte sich die Nadel bei 21,75° ein, man hat also, wenn x den Widerstand des fraglichen Drahtes bezeichnet,

$$tang.\ 21{,}75^0 = 0{,}399 = \frac{38{,}22}{40{,}7 + x} \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ 3)$$

und daraus

$$x = 55$$

als Werth für den gesuchten Leitungswiderstand.

Wenn wir als Einheit des Leitungswiderstandes den Widerstand eines Kupferdrahtes der oben bezeichneten Dimensionen annehmen, so ist darunter stets ein ausgeglühter Draht von reinem Kupfer zu verstehen, wie es durch den galvanischen Strom aus einer Lösung von Kupfervitriol ausgeschieden wird. Der geringste Zusatz fremder Metalle vergrößert den Leitungswiderstand bedeutend. Ein Eisengehalt von kaum $^2/_{10}$ Procent steigert den Leitungswiderstand eines Kupferdrahtes um mehr als 25 Procent.

Daraus erklärt sich nun auch, warum verschiedene Beobachter den specifischen Leitungswiderstand desselben Metalles so sehr ungleich fanden; namentlich ist klar, daß der Leitungswiderstand von Metallcompositionen, wie Messing, Neusilber u. s. w., variiren muß, wenn die Zusammensetzung etwas geändert wird.

Der specifische Leitungswiderstand der Metalle ändert sich mit der Temperatur und zwar steigt er, wenn die Temperatur wächst. Es ist dies leicht durch den Versuch nachzuweisen, man braucht nur in den Schließungsbogen eines constanten Rheomotors, etwa eines Bunsen'schen Bechers, die Tangentenbussole und außerdem noch einen ungefähr 1 Meter langen und gegen 1 Millimeter dicken Platin- oder Eisendraht einzuschalten. Die Tangentenbussole

wird eine bestimmte Ablenkung zeigen. Erwärmt man nun den Draht mittelst einer oder mehrerer Weingeistlampen, so geht die Nadel zurück, ein Beweis, daß der Widerstand des Drahtes zugenommen hat.

Bei einer Temperaturerhöhung von 0° auf 100° wächst der Leitungswiderstand

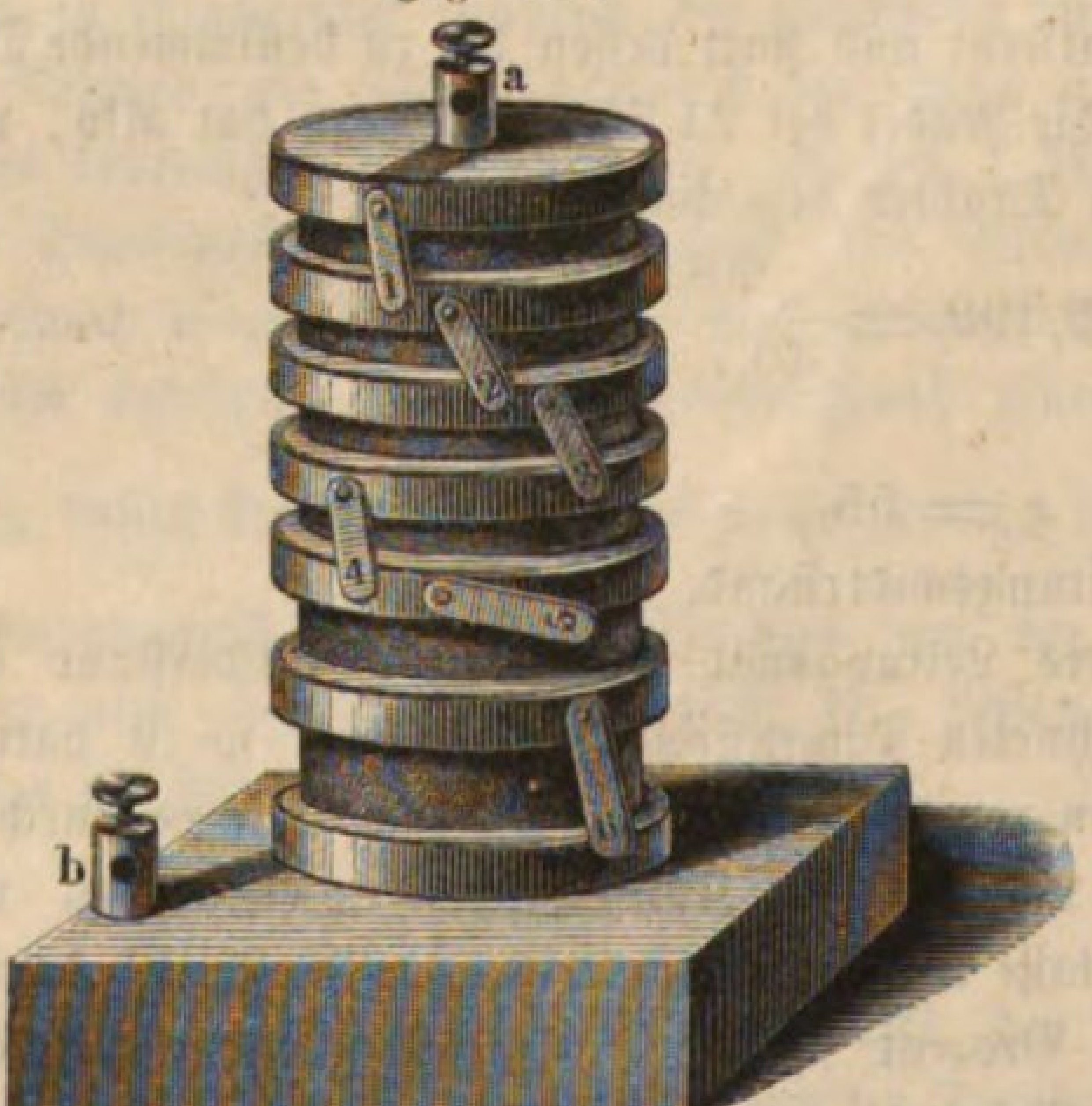
für Platin im Verhältniß von 1 zu 1,28,
» Eisen » » » 1 zu 1,61,
» Kupfer » » » 1 zu 1,37.

Um die Größe des Leitungswiderstandes der Metalldrähte für verschiedene Temperaturen zu ermitteln, wird der wohl übersponnene Draht auf ein Glasröhrchen aufgewunden und mit einem Thermometer in ein mit Oel gefülltes Proberöhrchen getaucht. Man kann nun nach den auf Seite 201 angegebenen Verfahren den Leitungswiderstand des Drahtes bei verschiedenen Temperaturen ermitteln.

In manchen Fällen, wo es sich darum handelt, der Reihe nach verschiedene bekannte Widerstände in den Schließungsbogen einzuschalten, ist der folgende von Eisenlohr construirte Apparat, den wir die Widerstandssäule nennen wollen, sehr bequem.

Er besteht aus einem Holzcylinder, Fig. 214, in welchem ringsum Vertiefungen eingedreht sind; auf den hervorragenden Theilen sind Messingringe befestigt. Zwei solcher Messingringe können durch ein bewegliches Brückchen von starkem Messing verbunden werden. In den Vertiefungen befinden sich die Windungen eines mit Seide übersponnenen Drahtes; das eine Ende desselben ist an den nächst oberen, das andere an den nächst unteren Messingring angelöthet. — Wenn zwischen je zwei Ringen die Brückchen herabgeschlagen, und in die beiden Klemmschrauben *a* und *b* die von dem Rheomotor kommenden Zuleitungsdrähte eingeschraubt sind, so geht der Strom von einem Ringe zum anderen über, ohne daß auf diesem Wege eine merklicher Widerstand zu überwinden wäre. Schlägt man aber ein Brückchen auf, wie es z. B. in unserer Figur für das Brücken Nro. 5 gezeichnet ist, so muß der Strom, um vom fünften zum sechsten Messingring zu gelangen, die zwischen ihnen befindlichen Drahtwindungen ihrer ganzen Länge nach durchlaufen, durch das Aufschlagen eines Brückchens wird also der Widerstand des entsprechenden Drahtstückes in den Schließungsbogen der Kette eingeschaltet.

Fig. 214.



Es ist zweckmäßig, zwei solcher Apparate zu haben, von denen jeder 9 Draht-

abtheilungen hat. Die Drahtstücke des ersten haben nach der Jakobi'schen Einheit die Widerstände 1, 2, 3 u. s. w. bis 9; die Drahtstücke des zweiten haben die Widerstände 10, 20, 30 u. s. w. bis 90.

Was die Dimensionen einer solchen Widerstandssäule betrifft, so hängen sie natürlich von den Dimensionen des Drahtes ab, den man zu ihrer Construction verwenden will.

Eisenlohr hatte seine Widerstandssäule auf größere Widerstände berechnet, als die eben angegebenen, und deshalb feinen Neusilberdraht angewendet.

Die Constanten galvanischer Rheomotoren. Um den Effect be- 82
urtheilen zu können, welchen man von irgend einer galvanischen Combination zu erwarten hat, muß man nothwendig die Constanten derselben kennen, nämlich ihre elektromotorische Kraft und ihren wesentlichen Widerstand.

Wie diese Constanten auf dem Wege des Versuchs ermittelt werden, haben wir bereits gesehen. Man schließe die Kette durch einen kurzen und dicken Leitungsdraht, dessen Widerstand man außer Acht lassen oder nöthigenfalls in Rechnung bringen kann, und schalte eine Tangentenbussole in den Schließungsbogen ein. Aus der beobachteten Ablenkung ergiebt sich der Werth S der Stromstärke und wir haben

$$S = \frac{E}{R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

wenn E die elektromotorische Kraft und R den wesentlichen Widerstand des Rheomotors (den Widerstand des kurzen Schließungsbogens mitgerechnet) bezeichnen. Schaltet man nun einen Widerstand l von bekannter Größe ein (wobei die im vorigen Paragraphen besprochene Widerstandssäule treffliche Dienste leistet), so nimmt die Ablenkung der Nadel ab, und dem geringeren Ablenkungswinkel entspricht die Stromstärke S'. Wir haben also jetzt

$$S' = \frac{E}{R + l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Da S, S' und l bekannte, in Zahlen ausgedrückte Größen sind, so kann man mit Hülfe der Gleichungen 1) und 2) die numerischen Werthe von E und R berechnen.

Die Zahlenwerthe von E und R hängen natürlich davon ab, welche Einheiten der Stromstärke und des Widerstandes man anwendet. Wir wollen für die Zukunft stets die bereits Seite 188 und 202 definirten Jacobi'schen Einheiten gebrauchen.

Für einen von Stöhrer in Leipzig verfertigten constanten Zinkkohlenbecher wurden z. B. auf dem angegebenen Wege folgende Resultate erhalten:

	Einschaltung l.	Ablenkung v.	$tang.\ v.$	Stromstärke $S = 70 . tang. v.$	R	E
1	0 68,7	61 8,5	1,804 0,149	121,24 10,43	6,2	783
2	0 68,7	31,5 7,25	0,613 0,127	49,91 8,86	18	772
					Mittel	777

Im Mittel aus diesen beiden Bestimmungen ergiebt sich also die elektromotorische Kraft der constanten Zinkkohlenkette gleich 777, d. h. sie ist von der Art, daß, wenn der Gesammtwiderstand der Kette gleich 1 wäre, ein Zinkkohlenbecher einen Strom erzeugen würde, welcher, in gleicher Stärke durch Wasser gehend, in der Minute 777 Kubikcentimeter Knallgas liefern müßte.

Bei der ersten Bestimmung war eine der trefflichen Stöhrer'schen Thonzellen, bei der letzten hingegen eine von gewöhnlichem, mit etwas Sand versetztem Töpferthon verfertigte angewandt worden. Die Flüssigkeiten waren in beiden Fällen dieselben. Man sieht, wie durch die schlechtere Thonzelle der Widerstand auf das Dreifache wächst.

Mit dem Concentrationsgrade der Flüssigkeiten ändert sich der Widerstand der Rheomotoren sehr bedeutend, während dadurch die elektromotorische Kraft nicht merklich ab- oder zunimmt; wenn also eine Säule bei verdünnterer Säure einen schwächeren Strom giebt, so liegt der Grund davon nicht in einer Verminderung der elektromotorischen Kraft, sondern in einer Vergrößerung des wesentlichen Widerstandes.

Wenn in einer Zinkkohlenkette bei unveränderter Salpetersäure das Zink einmal in einer Mischung von 1 Theil Schwefelsäure und 5 Theilen Wasser, das andere mal in einer Mischung von 1 Theil Schwefelsäure und 10 Theilen Wasser steht, so ist im letzteren Falle der wesentliche Leitungswiderstand des Bechers mehr als 2mal größer als im ersten Falle.

Als Mittel der bis jetzt über diesen Gegenstand gemachten Messungen ergeben sich folgende Werthe der elektromotorischen Kraft für die verschiedenen rheomotorischen Combinationen:

Für einen Bunsen'schen Becher 800
» » Grove'schen » 780
» » Daniell'schen » 470
» ein Wollaston'sches Plattenpaar . . 208

Für nicht constante Ketten, also auch für die Wollaston'sche, ist die elektromotorische Kraft aus Gründen, die wir bald werden kennen lernen, eine

ziemlich veränderliche Größe, der Zahlenwerth 208 ist also nur ein ungefährer wie denn überhaupt diese Zahlen keinen Anspruch auf große Genauigkeit machen.

Daß die elektromotorische Kraft der Grove'schen und Bunsen'schen Säule die der Daniell'schen so bedeutend übertrifft, obgleich die elektrische Differenz zwischen Zink und Platin sowohl, wie die zwischen Zink und Kohle nicht so sehr viel größer ist als die zwischen Zink und Kupfer, rührt daher, daß in der Daniell'schen Batterie die geringe elektrische Erregung zwischen Kupfervitriol und Kupfer der Gesammtwirkung aller übrigen Bestandtheile der Daniell'schen Batterie entgegenwirkt, während die elektrische Differenz zwischen concentrirter Salpetersäure und Platin oder Kohle die elektrische Spannung an den Polen der Grove'schen und Bunsen'schen Säule wesentlich steigern hilft, wie sich aus den auf Seite 164 mitgetheilten Zahlen ergiebt.

Der Leitungswiderstand verschiedener Rheomotoren ist nun keine beständige Größe, wie die elektromotorische Kraft, denn er ändert sich mit den Dimensionen des Apparates, mit der Natur der Thonzellen, dem Concentrationsgrade der Flüssigkeiten u. s. w. Wir können also in Beziehung auf den Leitungswiderstand die verschiedenen Rheomotoren nicht so einfach vergleichen, wie wir es in Beziehung auf die elektromorische Kraft gethan haben; wir müssen uns hier auf wenige allgemeine Bemerkungen beschränken. Unter sonst gleichen Umständen, d. h. bei gleichen Dimensionen, gleichen Thonzellen und gleichem Verdünnungsgrad der Schwefelsäure ist der Leitungswiderstand eines Grove'schen und Bunsen'schen Bechers bedeutend kleiner als der eines Daniell'schen, weil die Salpetersäure besser leitet als die Lösung des Kupfervitriols. — In der Wollaston'schen Kette ist der Leitungswiderstand verhältnißmäßig sehr gering, weil die Flüssigkeitsschicht nicht dick ist und die poröse Scheidewand wegfällt.

Zweckmäßigste Combination einer gegebenen Anzahl rheomotorischer Becher, um bei gegebenem Schließungsbogen die größte Wirkung zu erhalten. Ein Maximum der Stromstärke erhält man von einer gegebenen Anzahl galvanischer Becher, wenn man sie so ordnet, daß der wesentliche Widerstand im Rheomotor dem Widerstande im Schließungsbogen gleich ist. 83

Dieser Satz soll erst erläutert, dann bewiesen werden.

Wir haben bereits oben gesehen, daß man eine bestimmte Anzahl galvanischer Bechers in verschiedener Weise combiniren kann, so daß sie bald eine Säule von vielen, aber kleineren, bald eine solche von wenigen, aber größeren Plattenpaaren darstellt. Für jede dieser Combinationen ist natürlich auch der Gesammtwiderstand ein anderer. Bezeichnen wir den Leitungswiderstand eines einzelnen Bechers mit 1, so ist der Gesammtwiderstand der Combination, Fig. 215 (a. f. S.) gleich 8; der Widerstand der Combinationen Fig. 216 bis 218 ist dann der Reihe nach 2, $^1/_2$ und $^1/_8$. Eine Anzahl von 24 Bechern kann man auf acht verschiedenen Arten combiniren, nämlich:

1) Zu einer Säule von 24 einzelnen Bechern,
2) » » » » 12 doppelten »
3) » » » » 8 dreifachen »
4) » » » » 6 vierfachen »
5) » » » » 4 sechsfachen »
6) » » » » 3 achtfachen »
7) » » » » 2 zwölffachen »
8) » » » » 1 vierundzwanzigfache Becher.

Fig. 215.



Fig. 216.

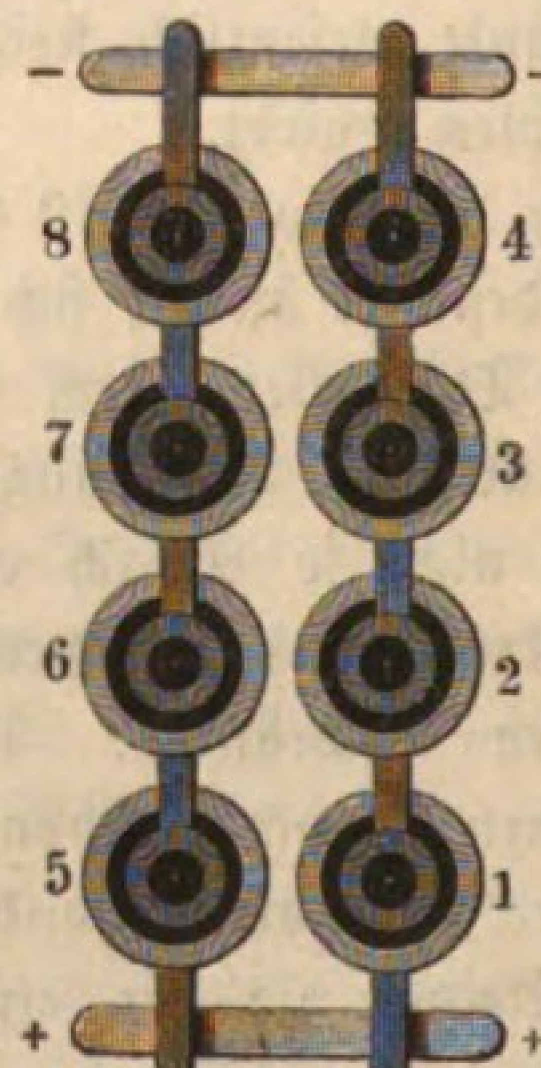


Fig. 217.

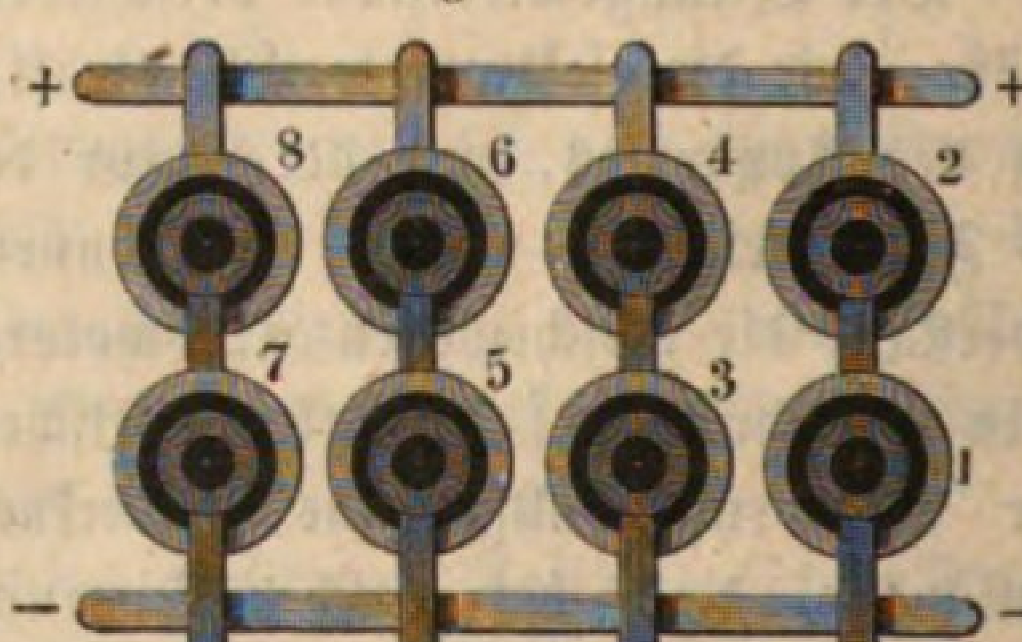
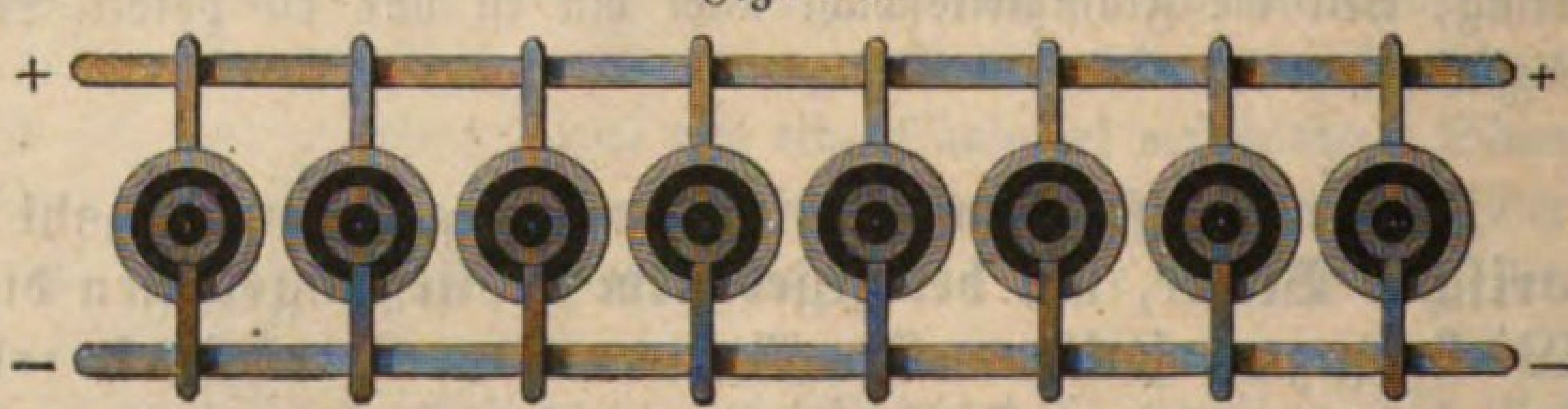


Fig. 218.



Welche von diesen Combinationen in einem bestimmten Fall zu wählen sei, hängt vom Leitungswiderstande des Schließungsbogens ab. Man hat diejenige Combination zu nehmen, deren Widerstand dem des gegebenen Schließungsbogens am nächsten steht. Bezeichnen wir mit 1 den Widerstand eines Bechers, so ist der Widerstand

für die 1. Combination 24,
» » 2. » 6,
» » 3. » 2,666,
» » 4. » 1,5,
» » 5. » 0,666,

für die 6. Combination 0,375,
» » 7. » 0,166,
» » 8. » 0,0416.

Ist der Widerstand des gegebenen Schließungsbogens kleiner als 0,1 von dem Widerstande eines Elementes, so hat man die letzte Combination zu wählen, die erste aber, wenn der Leitungswiderstand des Schließungsbogens größer ist als der von 15 Bechern. Liegt der zu überwindende Widerstand zwischen 15 und 4,3 — zwischen 4,3 und 2 — zwischen 2 und 1,08 u. s. w., so hat man die zweite, dritte, vierte u. s. w. Combination zu wählen.

Der eben erläuterte Satz muß nun noch bewiesen werden.

Betrachten wir die verschiedenen Combinationen von 8 Elementen, wie sie in den Fig. 215 bis 218 dargestellt sind, so übersieht man leicht, daß, wenn man die Säule verkürzt, sie in demselben Verhältniß breiter wird, d. h. wenn man weniger Becher hinter einander setzt, so kann man bei Anwendung der gleichen Becherzahl in demselben Verhältniß mehr Elemente neben einander setzen.

Gehen wir von der ersten Combination aus. Wir haben hier eine Säule von 8 einfachen Bechern. Reduciren wir die Länge der Säule auf die Hälfte, also auf 4, so können wir die Breite jedes Plattenpaares verdoppeln, wir haben jetzt 4 doppelte Becher, Fig. 216.

Macht man die Säule 4mal kürzer, so kann man 4mal soviel einzelne Becher zu einem Plattenpaare vereinigen: aus 8 einfachen Bechern erhält man 2 vierfache, Fig. 217. Kurz, wenn man die Säule $a$mal kürzer macht, so kann man $a$mal soviel Becher zu einem Plattenpaare vereinigen.

Wenn die Zahl der hinter einander zur Säule vereinigten Becher $a$mal kleiner wird, so wird die elektromotorische Kraft auch $a$mal kleiner; hätte man nun die Säule bloß $a$mal kürzer gemacht, ohne ihre Breite zunehmen zu lassen, so würde auch der Leitungswiderstand $a$mal kleiner geworden sein; wenn aber jedes Element der einen Säule aus $a$mal so vielen Einzelelementen besteht als früher, so wird nun der Widerstand in der That a^2mal kleiner als vorher.

So ist der Leitungswiderstand für die Combinationen Fig. 216 bis 218 4mal, 16mal und 64mal geringer als der Leitungswiderstand der Säule Fig. 215.

Nach dieser Auseinandersetzung ist nun der fragliche Beweis leicht zu führen. Es sei für irgend eine Combination mehrerer Becher die elektromotorische Kraft E, der wesentliche Leitungswiderstand l. Wird diese Säule durch einen Schließungsbogen geschlossen, dessen Widerstand ebenfalls l ist, so ist nach dem Ohm'schen Gesetze die Stromstärke

$$S = \frac{E}{l + l} = \frac{E}{2l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Wird nun die Säule $a$mal kürzer, die einzelnen Plattenpaare $a$mal breiter gemacht, so wird die elektromotorische Kraft $a$mal kleiner, sie wird $\frac{E}{a}$; der Lei-

tungswiderstand der Kette wird aber $\frac{l}{a^2}$, die Stromstärke wird also jetzt bei gleichem Schließungsbogen

$$S' = \frac{\frac{E}{a}}{\frac{l}{a^2} + l} = \frac{E}{l\left(a + \frac{1}{a}\right)} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 2)$$

Die Summe $a + \frac{1}{a}$ ist nun aber unter allen Umständen größer als 2, was für einen ganzen oder gebrochenen Zahlenwerth man auch für a setzen mag; es ist also auch der Werth des Bruches 2) unter allen Umständen kleiner als der des Bruches 1). Da nun 1) den Werth der Stromstärke für den Fall bezeichnet, daß der Widerstand im Elektromotor dem Widerstande des Schließungsbogens gleich ist, der Bruch 2) aber den Werth der Stromstärke für den Fall, daß dieselbe Anzahl von Einzelelementen auf irgend eine andere Weise combinirt ist, so ist hiermit der fragliche Satz bewiesen.

Nach diesem Satze kann man nun leicht berechnen, welche Combination in einem gegebenen Falle gewählt werden müsse.

Es seien die n disponibeln Becher so combinirt, daß sie eine Säule von s Plattenpaaren bilden, deren jedes aus t Bechern gebildet ist, so ist $n = s.t$. Bezeichnen wir den Widerstand eines Bechers mit r, so ist der Widerstand unserer Combination gleich $r \cdot \frac{s}{t} \cdot$ — Die Becher sollen aber so combinirt sein, daß dieser Widerstand gleich ist dem Widerstande l des gegebenen Schließungsbogens, wir haben also

$$r \cdot \frac{s}{t} = l.$$

Da aber $t = \frac{n}{s}$, so ist auch

$$\frac{r \,.\, s^2}{n} = l,$$

oder

$$s = \sqrt{\frac{l \,.\, n}{r}}.$$

Zur Erzeugung des Stromes habe man z. B. 24 Zinkkohlenbecher, deren jeder einen Leitungswiderstand 15 ausübt. Der Schließungsbogen sei durch einen spiralförmig gewundenen dicken Kupferdraht gebildet, dessen Widerstand 14 ist, so haben wir

$$s = \sqrt{\frac{14 \,.\, 24}{15}} = 4{,}7.$$

Es wird hier also eine Säule von 4 sechsfachen Elementen, die Combination 5 auf Seite 208, die größte Wirkung geben. In der That ist für diesen Fall die Stromstärke

$$S = \frac{4.800}{4 \cdot \frac{15}{6} + 14} = 133.$$

Hätte man bei demselben Schließungsbogen dieselben Becher zu einer Säule von 24 Plattenpaaren verbunden (die Combination 1 auf Seite 208), so wäre die Stromstärke nur

$$S = \frac{24.800}{24.15 + 14} = 51,$$

und für die Combination 8) wäre sie nur

$$S = \frac{800}{\frac{15}{24} + 14} = 54.$$

Hätte man 24 Daniell'sche Becher von gleichem Widerstande gehabt, so wäre für die zweckmäßigste Combination die Stromstärke

$$S = \frac{4.470}{4 \cdot \frac{15}{46} + 14} = 78$$

gewesen. Eine Säule von 4 Wollaston'schen Plattenpaaren, deren jedes einen Leitungswiderstand gleich $\frac{15}{6}$ ausübt, würde in diesem Schließungsdraht eine Stromstärke

$$S = \frac{4.208}{4 \cdot \frac{15}{6} + 14} = 34$$

gegeben haben.

Hat man einmal eine gegebene Anzahl von Bechern so combinirt, daß sie in einem gegebenen Schließungsbogen ein Maximum von Stromstärke geben, so wird eine Vermehrung der Becher die Stromstärke im günstigsten Falle nur im Verhältniß der Quadratwurzel aus der Becherzahl vergrößern; man muß also 4mal, 9mal, 16mal so viel Becher anwenden, um die 2fache, 3fache, 4fache Wirkung zu erhalten.

Suchen wir dies erst an einem speciellen Fall nachzuweisen. Es sei der Widerstand des Schließungsbogens gleich r, gleich dem Widerstande eines Bechers, dessen elektromotorische Kraft mit E bezeichnet werden soll, so ist die Stromstärke

$$S = \frac{E}{r + r} = \frac{E}{2r}.$$

Die Stromstärke soll nun durch Vermehrung der Becherzahl verdoppelt werden. Soll die neue Combination ein Maximum von Effect geben, so muß der Widerstand in der Kette so groß bleiben als der Widerstand des Schließungsbogens, der Widerstand der neuen Combination darf also nicht größer werden als der eines einzigen Bechers; wir werden also die doppelte Stromstärke erhalten, wenn wir bei unverändertem Widerstande die elektromotorische Kraft

verdoppeln. Die elektromotorische Kraft wird verdoppelt dadurch, daß 2 Plattenpaare hinter einander gesetzt werden; wir müssen aber 2 Doppelelemente nehmen, wenn ihr Widerstand eben so groß sein soll wie der eines einzelnen Elementes; die Combination Fig. 219 wird also eine 2mal, die Combination Fig. 220 wird eine 3mal so große Stromstärke geben als ein einzelner Becher.

Fig. 219.

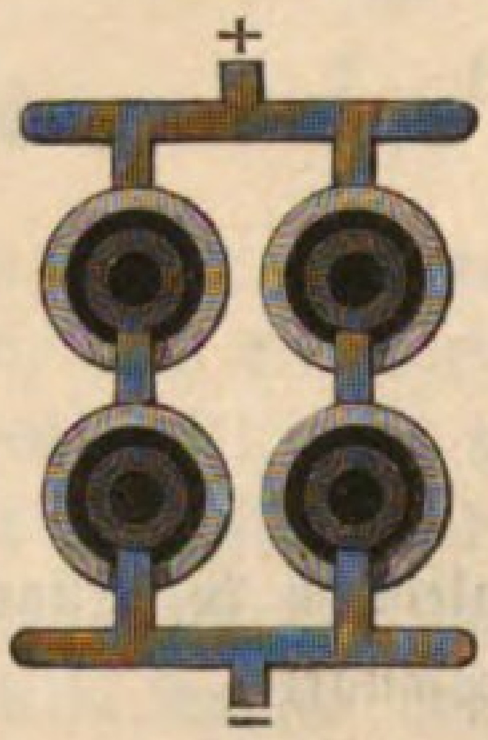
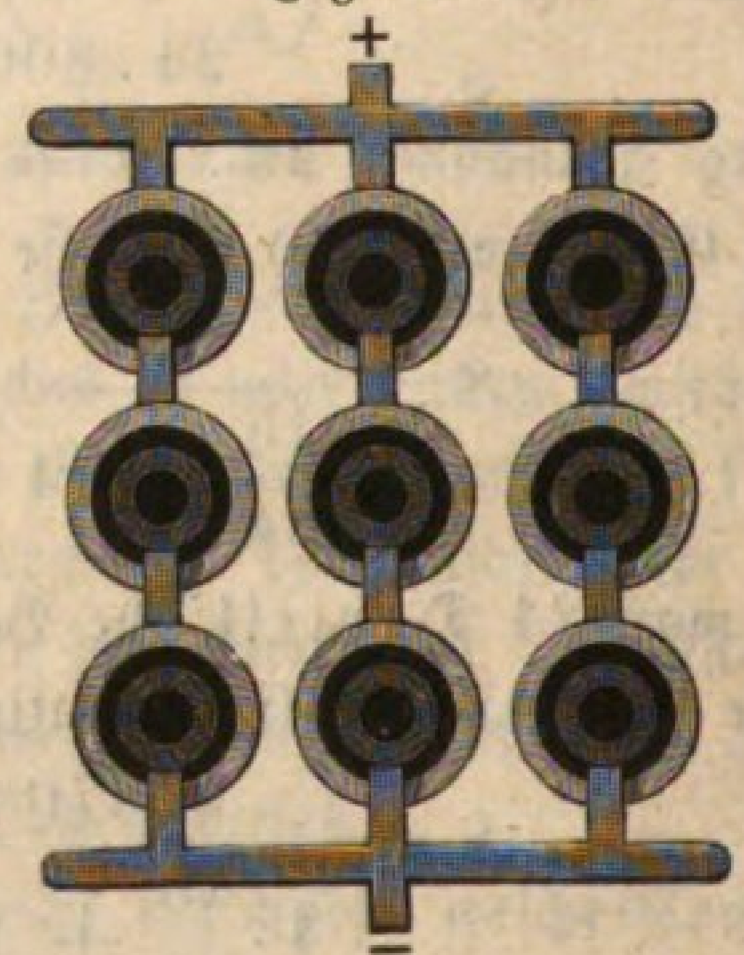


Fig. 220.



84 **Leitungswiderstand der Flüssigkeiten.** Wenn ein Voltameter in den Schließungsbogen einer Säule eingeschaltet wird, so rührt die dadurch bewirkte Verminderung der Stromstärke nicht bloß von der Vermehrung des Leitungswiderstandes durch die eingeschaltete Flüssigkeit her, sondern es findet zugleich eine Verminderung der elektromotorischen Kraft Statt, wie der folgende Versuch beweist.

Sechs Zinkkohlenbecher wurden zur Säule verbunden. Die in den Schließungsbogen eingeschaltete Tangentenbussole gab

für die Einschaltung	0	46° Ablenkung,
» »	» 51 Meter Normaldraht	30° »

und daraus ergab sich für die elektromotorische Kraft der Säule

$$E = 4655,$$

und für den Widerstand derselben

$$r = 64{,}3.$$

Nun wurde ein Voltameter eingeschaltet. Ohne weitere Einschaltung war die Ablenkung 31,8°. Als nun außerdem noch der Widerstand 51 eingeschaltet wurde, ging die Nadel auf 20,6° zurück. Aus diesen beiden Ablesungen ergiebt sich nun, für den Fall, daß das Voltameter eingeschaltet war,

$$E' = 3385,$$

und der Widerstand der Säule sammt dem Voltameter

$$R = 78.$$

Der Widerstand der Flüssigkeit im Voltameter war demnach

$$78 - 64 = 14.$$

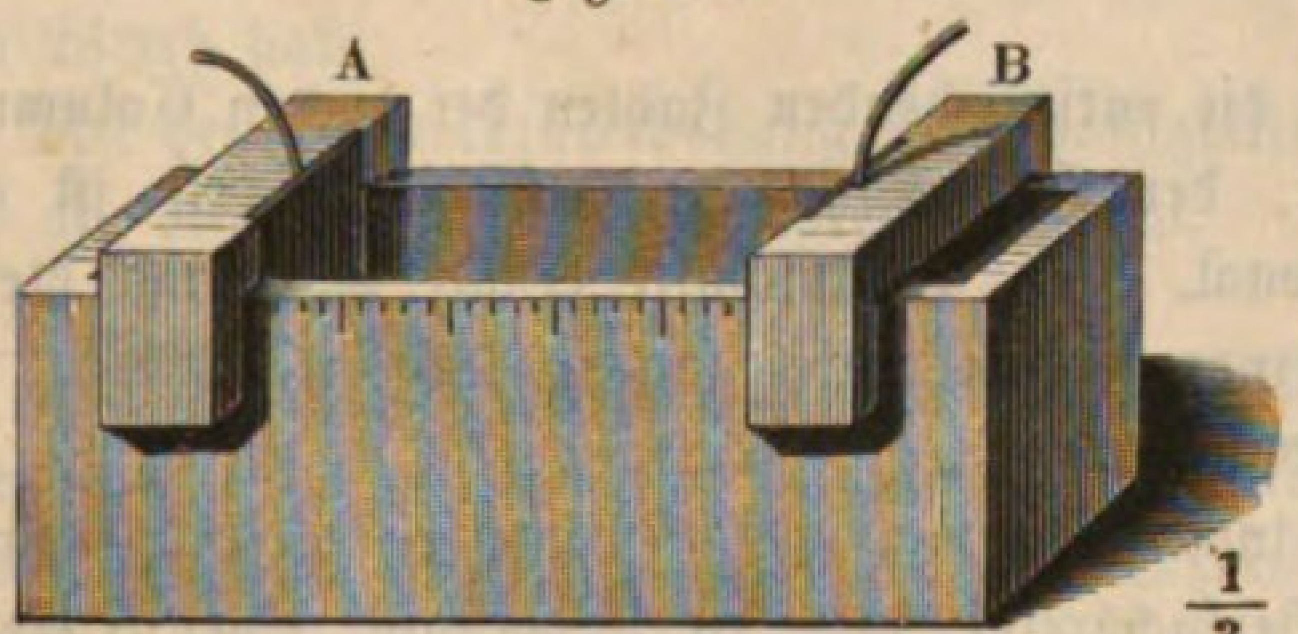
Die elektromotorische Kraft der Säule war aber durch die Einschaltung des Voltameters um

$$4655 - 3385 = 1270$$

vermindert worden. Es tritt also im Voltameter offenbar eine elektromotorische Gegenkraft auf, die man mit dem Namen der galvanischen Polarisation bezeichnet, wir werden sie im nächsten Paragraphen näher betrachten.

Will man also den Leitungswiderstand der Flüssigkeiten bestimmen, so muß man entweder den Einfluß der galvanischen Polarisation in Rechnung bringen, oder man muß den Versuch so einrichten, daß derselbe gewissermaßen von selbst eliminirt ist. Wheatstone hat ein solches Verfahren angegeben. Horsford bediente sich zur Ausführung der Wheatston'schen Methode des Apparates, welcher Fig. 221 in $^1/_2$ oder $^1/_3$ der natürlichen Größe dargestellt ist. In einem wohlgefirnißten Trog von trockenem Holze, welcher die Flüssigkeit aufnimmt, sind zwei Platinplatten eingetaucht, welche fast den ganzen Querschnitt des Troges ausfüllen. Sie werden mit den Poldrähten der Säule in Verbindung gebracht. Außer diesem Apparate wurde noch eine Tangentenbussole und ein Rheostat in den Schließungsbogen eingeschaltet.

Fig. 221.



Wenn man die Platinplatten weiter von einander entfernt, so muß man durch Rückwärtsdrehen des Rheostaten eine gewisse Anzahl Drahtwindungen aus dem Schließungsbogen herausnehmen, um den Stand der Tangentenbussole unverändert zu erhalten, und offenbar ist der Widerstand des aus dem Schließungsbogen entfernten Drahtes das Aequivalent für die Vergrößerung, welche der Leitungswiderstand der Flüssigkeiten durch Entfernung der Platinplatten erfahren hat. Die galvanische Polarisation ist in beiden Fällen unverändert dieselbe geblieben, sie kommt also hier gar nicht weiter in Betracht.

Zunächst hat Horsford gezeigt, daß Flüssigkeitssäulen in Beziehung auf Leitungswiderstand ganz dieselben Gesetze befolgen wie Metalldrähte, d. h. daß sich der Widerstand direct wie die Länge und umgekehrt wie der Querschnitt der flüssigen Schicht verhält.

Der Trog wurde mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, die Platten in 2,5 Centimeter Entfernung gebracht, und der Gesammtwiderstand so regulirt, daß die Nadel der Bussole auf einem bestimmten Punkte (etwa 20°) stand.

Die folgende Tabelle giebt nun an, und zwar in der zweiten Columme, wieviel Rheostatenwindungen (von Neusilberdraht) man aus dem Schließungsbogen herausnehmen mußte, um die Bussolennadel auf derselben Stelle zu erhalten, wenn der Abstand der Platten (bei unveränderter Anfüllungshöhe des Troges, nämlich 2,75 Centimeter) um die in der ersten Columme stehenden Werthe vergrößert wurde.

Centimeter.	Rheostatenwindungen.
2,5	2,11
5,0	4,25
7,5	6,98
12,5	10,75
25,0	20,67

Wie man sieht, behalten die entsprechenden Zahlen der beiden Columnen sehr nahe dasselbe Verhältniß, der Widerstand der Flüssigkeitssäule ist also wirklich ihrer Länge proportional. Im Durchschnitt erhält man aus diesem Versuch für den Widerstand einer 5 Centimeter langen Flüssigkeitsschicht den Werth von 4,3 Rheostatenwindungen.

Als der Trog bis zur einer Höhe von 4,8 Centimeter angefüllt wurde, ergab sich aus einer gleichen Versuchsreihe für den Widerstand einer 5 Centimeter langen Flüssigkeitssäule (natürlich dieselbe verdünnte Säure) der Werth von 2,56 Rheostatenwindungen.

Da nun die Anfüllungshöhen 2,75 und 4,8 sich nahezu umgekehrt verhalten wie die entsprechenden Widerstände 4,3 und 2,56 (wir haben nämlich 2,75 : 4,8 = 2,56 : 4,46), so steht also der Leitungswiderstand der flüssigen Säule im umgekehrten Verhältnisse ihres Querschnitts.

Nach einer ähnlichen Methode fand Becquerel folgende Werthe für den specifischen Leitungswiderstand verschiedener Flüssigkeiten, den des Silbers gleich 1 gesetzt:

Gesättigte Lösung von Kupfervitriol	18450000
» » » Kochsalz	3173000
» » » salpetersaurem Kupfer .	11120000
» » » schwefelsaurem Zink .	17330000
Verdünnte Schwefelsäure (220 C. C. Wasser + 20 C. C. $SO_3 + HO$	1128000
Käufliche Salpetersäure von 36° B.	1606000

In Betreff des Einflusses, welchen der Concentrationsgrad der Lösungen ausübt, fand Becquerel folgende Resultate:

Schwefelsaures Kupferoxyd.	Widerstand.
Gesättigte Lösung	18450000
Verdünnt zum 2fachen Volumen	28820000
» » 4fachen Volumen	48080000
Kochsalz.	
Gesättigte Lösung	3173000
Verdünnt zum 2fachen Volumen	4333000
» » 3fachen Volumen	5721000
» » 4fachen Volumen	7864000.

Mit dem Salzgehalte einer Lösung nimmt die Zähigkeit desselben zu (d. h. die Beweglichkeit der Theilchen nimmt ab), während die Leitungsfähigkeit für den elektrischen Strom zunimmt. Nach den Untersuchungen von Wiedemann (Pogg. Annal. XCIX, 229) ist der Leitungswiderstand r einer Salzlösung ihrer Zähigkeit z direct und ihrem Salzgehalte n umgekehrt proportional d. h. es ist

$$r = \frac{z}{n} \cdot c,$$

wenn c einen constanten Factor bedeutet, welcher für jedes Salz einen besonderen Werth hat.

Mit der Temperaturerhöhung der Flüssigkeiten nimmt ihr Leitungswiderstand ab, offenbar weil die Zähigkeit abnimmt.

Galvanische Polarisation. Da die Einschaltung eines Voltameters 85
in den Schließungsbogen einer Säule eine Verminderung der vorher wirksamen elektromotorischen Kraft zur Folge hat, so muß in dem Voltameter selbst offenbar eine elektromotorische Kraft auftreten, welche der in der Säule thätigen entgegengesetzt ist, welche also einen dem primitiven entgegengesetzten Strom zu erzeugen strebt.

Daß die Tendenz zu einem solchen Gegenstrom vorhanden ist, läßt sich am besten dadurch zeigen, daß man diesen Strom wirklich zur Entstehung bringt. Es ist dies auf folgende Weise möglich:

Man bringe die beiden Platten eines Voltameters mit den beiden Polen einer galvanischen Kette in Berührung, wie dies Fig. 222 angedeutet ist, wo a den Wasserzersetzungsapparat, b den Rheomotor darstellen soll. (Es ist zu diesem Versuche nur ein Becher nöthig.) Hat die Schließung nur ganz kurze Zeit gedauert, so sind die Platten in a geladen; öffnet man die Kette, bringt man alsdann die eine Platte von a mit dem einen, die andere mit dem anderen Drahtende eines Multiplicators c in Berührung, so wird die Multiplicatornadel abgelenkt und zeigt einen Strom an, welcher dem durch den Rheomotor b im Voltameter a hervorgebrachten entgegengesetzt ist.

Fig. 222.



Durch die galvanische Polarisation erklärt es sich nun auch leicht, warum nur eine fast unmerkliche Wasserzersetzung stattfindet, wenn man ein Voltameter in den Schließungsbogen eines einzelnen Volta'schen Elementes einschaltet.

Die galvanische Polarisation erklärt uns ferner auch die Wirkung der von Ritter entdeckten Ladungssäule.

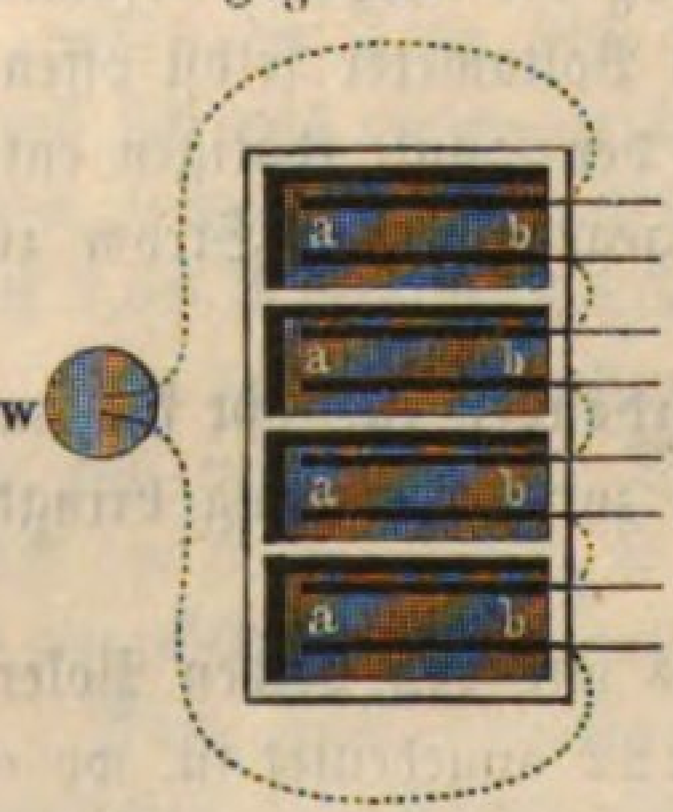
Wenn man eine Säule von Kupferscheiben und angefeuchtetem Papier aufbaut und die beiden Enden derselben mit den Polen einer Volta'schen Säule von hinlänglicher Spannung verbindet, so wird die secundäre Säule ganz in derselben Weise geladen, wie in dem eben betrachteten Falle die Platten des Voltameters. Wir haben eigentlich hier ja nur eine ganze Reihe solcher Zersetzungszellen, deren Platten sämmtlich polarisirt werden. Trennt man

die secundäre Säule (auch so wird die Ladungssäule genannt) von der galvanischen Kette, welche zu ihrer Ladung diente, so ist sie nun selbst im Stande, die Erscheinungen einer Volta'schen Säule hervorzubringen; sie zeigt an dem einen Pole positive, am anderen negative Elektricität, und ihr Strom, welcher dem der ladenden Säule entgegengesetzt ist, kann vorübergehend selbst chemische Wirkungen hervorbringen.

Poggendorff hat gezeigt, wie man eine secundäre Säule mit einer einfachen Kette, etwa einem Grove'schen oder Bunsen'schen Becher, laden und durch die Entladung der Säule einen Strom hervorbringen kann, der ungleich stärkere Widerstände überwinden kann, als das zur Ladung angewandte Plattenpaar.

Fig. 223 stelle eine secundäre Säule dar, die aus 4 Paaren von Platinplatten besteht; jedes Paar befindet sich in einem besonderen Troge. Wird nun die obere Platte einer jeden Zelle mit dem einen, die gegenüberstehende mit dem anderen Pole des ladenden Bechers verbunden, so wird jedes Paar von Platinplatten geladen, und zwar ist die Ladung für alle Paare dieselbe. Wird nun die Verbindung mit dem Rheomotor aufgehoben, die Platinplatten nach dem Principe der Säule so verbunden, wie es durch die punktirten Linien angedeutet ist, und dann die secundäre Säule durch einen Bogen geschlossen, in welchen ein Voltameter *w* eingeschaltet ist, so entsteht ein Strom, welcher eine kräftige Wasserzersetzung zeigt, während das ladende Element eine solche Zersetzung nicht hervorbringt. Der primäre Rheomotor hat nicht Spannung genug, um Wasser zu zersetzen, diese erhält man aber, wenn man die geladenen Platinplatten nach dem Principe der Säule combinirt.

Fig. 223.



Der Entladungsstrom der secundären Säule ist natürlich nur ein vorübergehender. Um eine merkliche Quantität Wasser zu zersetzen, muß man rasch nach jeder Entladung die Platinplatten wieder in entsprechender Weise mit den Polen des primären Rheomotors verbinden, um alsbald eine neue Entladung bewerkstelligen zu können. Poggendorf hat einen sehr sinnreichen Apparat erfunden, den er die Wippe nennt, mit Hülfe dessen die Ladungen und Entladungen sehr rasch ausgeführt werden können.

Neben den Zellen *BB*, welche die Platinplatten aufnehmen, und welche man Fig. 224 im Grundriß sieht, ist ein Brett *AA* angebracht, welches die Unterlage zur eigentlichen Wippe bildet. Es ist von hartem, dichtem Holz gemacht, 1 Zoll dick, $3^3/_4$ Zoll breit und, falls das Instrument zur Ladung einer Batterie von vier Plattenpaaren dienen soll, ungefähr 6 Zoll lang.

In dieses Brett sind bis zur Tiefe von ungefähr $^1/_2$ Zoll zwei Löcherreihen *ho* und *h' o'* eingebohrt, welche paarweise durch Kupferdrähte, die an beiden Enden hakenförmig herabgebogen sind, oder auch durch Eisenstäbe, die in

das Brett eingelassen sind, verbunden werden, wie es in unseren Figuren gezeigt ist. Die Löcher werden mit Quecksilber gefüllt.

Von der Platinplatte 1 geht ein Kupferdraht nach *o'*, die Platte 1 ist also mit dem vordersten *o'* und *o* in leitender Verbindung, ebenso die Platte 2 mit den beiden folgenden Quecksilbernäpfchen *h'* und *h* u. s. w.

Damit die Verbindungsdrähte möglichst kurz seien, hat man die Unterlage *AA* durch ein Statif oder durch Holzklötze in gleiche Höhe mit dem oberen Theil der Platinplatten, und diesen recht nahe zu bringen.

Auf die Unterlage kommt die eigentliche Wippe zu stehen, welche in etwas größerem Maßstabe als in Fig. 224, in Fig. 225 im Durchschnitt, und

Fig. 224.

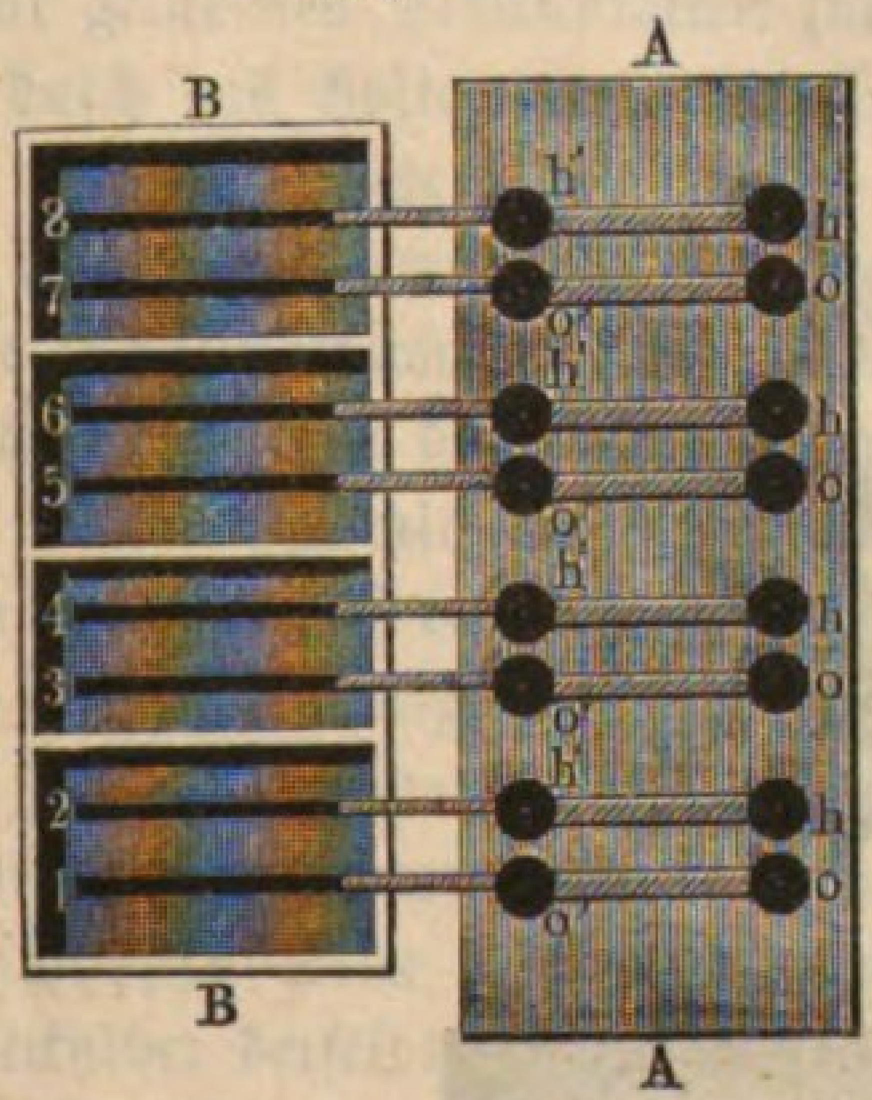
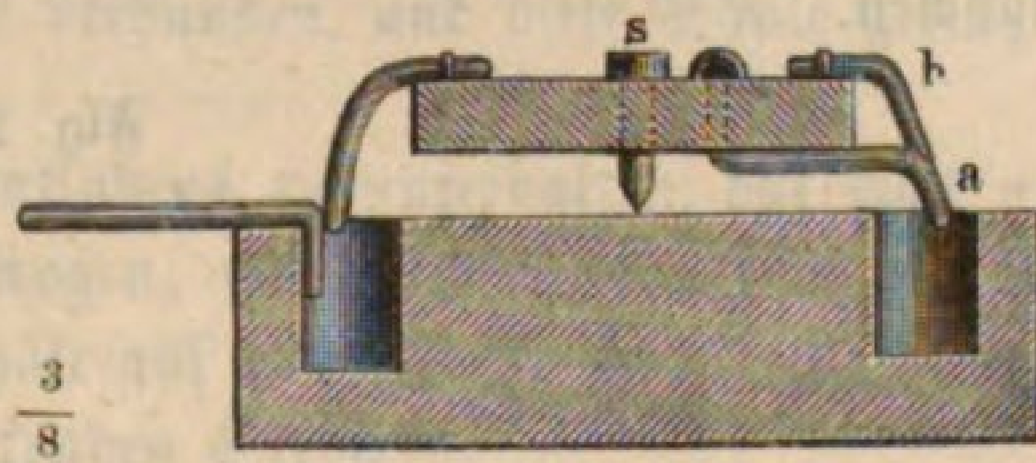


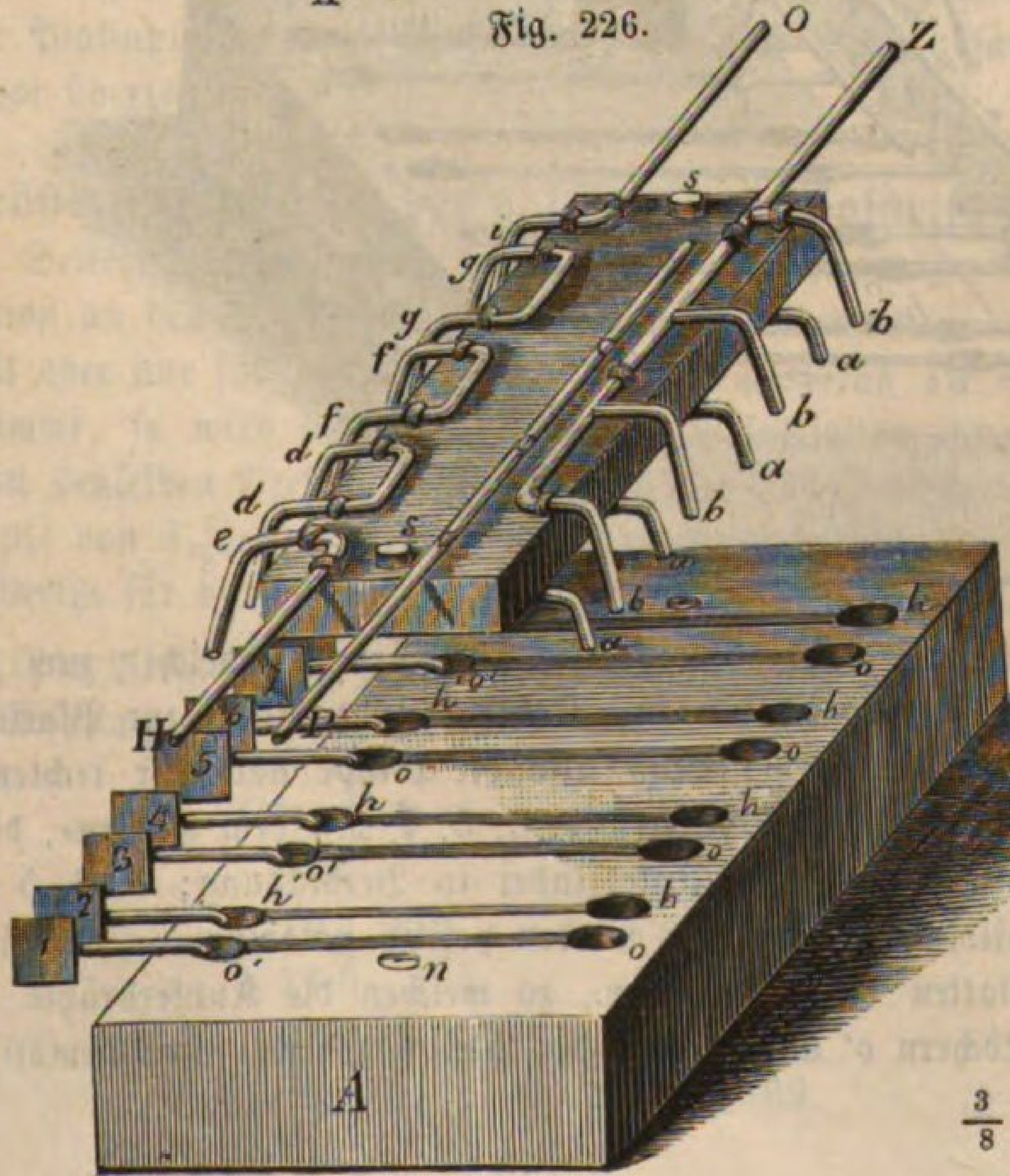
Fig. 225.



mit der Unterlage in Fig. 226 perspectivisch dargestellt ist.

Durch den mittleren Theil eines Brettes von $^1/_3$ Zoll Dicke, $1^1/_2$ Zoll Breite und fast gleicher Länge mit der Unterlage gehen zwei stumpf zugespitzte

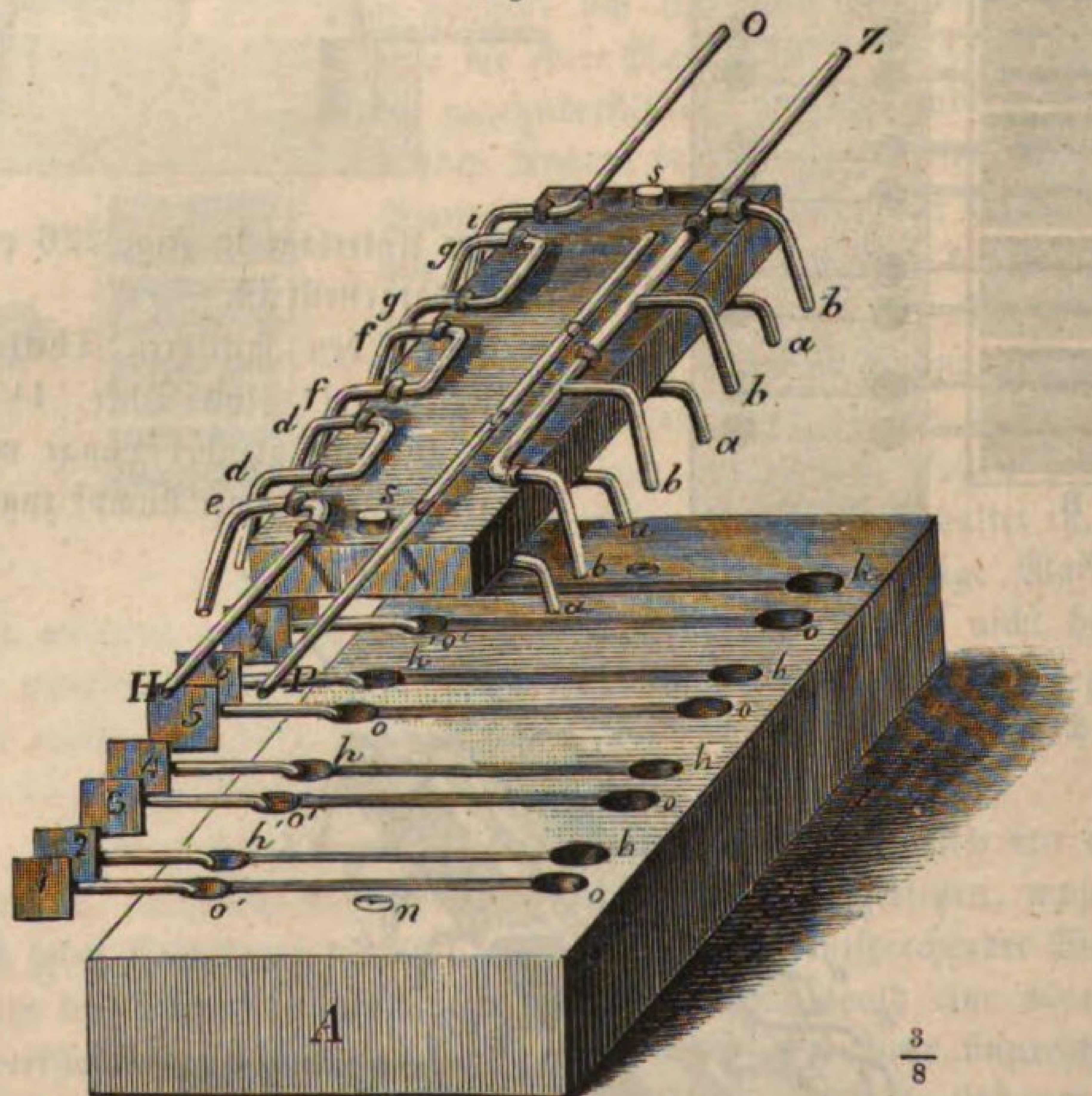
Fig. 226.



Stifte *ss*, welchen zwei Vertiefungen in der Unterlage entsprechen. Mittelst dieser Stifte stützt sich die Wippe auf die Unterlage in der Weise, daß sie entweder nach der einen oder anderen Seite neigt, so daß die an dem Brette befindlichen Haken entweder in die Quecksilbernäpfchen rechts oder links eintauchen.

Diese Haken sind von Kupferdraht. Auf der rechten Seite ist die Hälfte aller Haken, nämlich die mit *b* bezeichneten, an einem nach hinten verlängerten und dort mit *Z* bezeichneten Kupferdraht befestigt; die mit *a* bezeichneten Haken aber gehen durch das Brett hindurch zu einem nach vorn verlängerten und mit *P* bezeichneten Kupferdraht. Ist nun die Wippe auf die rechte Seite geneigt, so tauchen die mit *a* bezeichneten Haken in die mit *o* bezeichneten Löcher, während die mit *b* bezeichneten Haken in die mit *h* bezeichneten Löcher eintauchen.

Fig. 226.



Bei *Z* ist nun ein Verbindungsdraht angeschraubt, welcher zum Zinkcylinder, bei *P* ein solcher, welcher zum Kohlencylinder (oder zur Platinplatte) des ladenden Rheomotors geht; wenn also die Wippe nach der rechten Seite geneigt ist, so sind dadurch die Platten 1, 3, 5, 7 mit dem Kohlen-, die Platinplatten 2, 4, 6, 8 mit dem Zinkcylinder in Verbindung; 1, 3, 5 und 7 werden also negativ, 2, 4, 6 und 8 werden positiv polarisirt. (In Fig. 226 sind die Platinplatten 1, 2, 3 u. s. w., zu welchen die Kupferdrähte führen, welche aus den Löchern *o'* und *h'* nach der Linken gehen, nur schematisch angedeutet.)

Auf der linken Seite der Wippe befindet sich nun ein anderes Hakensystem. Der vorderste *e* ist nach vorn (nach *H*) gebogen, der hinterste *i* nach hinten (nach *O*). Die beiden mit *d* bezeichneten Haken sind aus einem Stück Kupferdraht gemacht, ebenso die beiden mit *f* und die beiden mit *g* bezeichneten Haken. Wird nun die Wippe nach der linken Seite geneigt, so treten die Haken *a* und *b* aus dem Quecksilber ihrer Näpfchen heraus, die Haken *e, d, f, g* und *i* aber tauchen in die Näpfchen *o'* und *h'* ein. Durch die Haken *d* werden die Platten 2 und 3, durch *f* 4 und 5, durch *g* 6 und 7 in leitende Verbindung gebracht, also die Platinplatten nach dem System der Säule combinirt. Bei *H* nun ist der eine Enddraht des Voltameters, bei *O* der andere angeschraubt; sobald also die Wippe nach der linken Seite gelegt wird, werden die zuvor geladenen Platinplatten zur Säule verbunden, und diese Säule gleichzeitig durch das Voltameter geschlossen.

Um den Proceß des Ladens und Entladens zu unterhalten, hat man nur die Wippe andauernd hin und her zu bewegen, was leicht 200mal in der Minute ausgeführt werden kann. Man erhält auf diese Weise zwar einen intermittirenden, aber doch beliebig lange wirkenden Strom.

Eine Batterie von 4 Plattenpaaren, welche $2^1/_2$ Quadratzoll groß waren und mit einem Grove'schen Element geladen wurden, lieferten bei 80 Ladungen und Entladungen in der Minute 5 bis 6 Cubikzoll Knallgas.

Die Anwendung des Quecksilbers in dieser Wippe bringt mancherlei Unannehmlichkeiten mit sich; in meinem »Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik« Seite 355 habe ich einen Apparat beschrieben, durch welchen ohne Quecksilber derselbe Effect hervorgebracht wird wie durch die Wippe.

Die Platinplatten der Poggendorff'schen Ladungssäule waren mit Platinmoor überzogen.

Größe und Ursache der galvanischen Polarisation. Wir haben oben Seite 212 einen numerischen Werth für die Größe der galvanischen 86
Polarisation an den Platinplatten des Voltameters erhalten. Dieser Zahlenwerth gilt aber nur für einen speciellen Fall, denn wenn die Stromstärke ab- oder zunimmt, so wird auch die galvanische Polarisation ihre Größe ändern. Hätte man denselben Versuch, wie er auf Seite 212 beschrieben wurde, mit einer Säule von 4, von 2 rheomotorischen Bechern gemacht, so hätte man geringere Werthe für die Größe der galvanischen Polarisation gefunden.

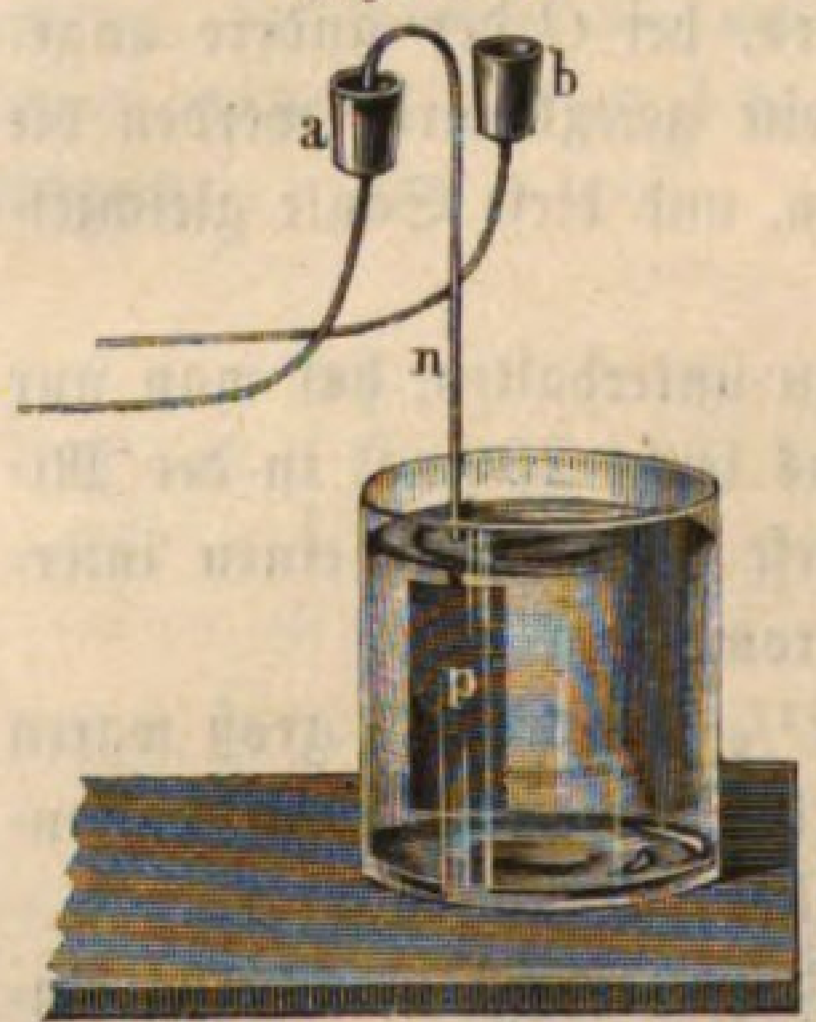
Buff's Vergleichung zwischen Stromstärke und Polarisationsgröße gab folgende Resultate:

Stromstärke.	Polarisation.
43,7	1256
19,7	1165
11,5	1132
8,0	1118
4,4	1069.

Was nun die Ursache der galvanischen Polarisation betrifft, so deutet alles darauf hin, daß sie in einer Gasschicht zu suchen sei, mit welcher sich die Platten des Voltameters in Folge der Wasserzersetzung bekleiden. Die negative Polplatte überzieht sich nämlich mit Wasserstoff und wird dadurch elektropositiv gegen die andere, die sich in gleicher Weise mit Sauerstoff bekleidet.

Für die Richtigkeit dieser Erklärung hat Schönbein directe Beweise gegeben. In ein Quecksilbernäpfchen *a*, Fig. 227, welches mit dem einen Drahtende eines nicht sehr empfindlichen Multiplicators in Verbindung steht, ist der Draht einer Platinplatte *p* eingetaucht, welche vorher wohl gereinigt sein muß, und die in ein Gefäß mit gesäuertem Wasser herabhängt. — Hängt man nun in das Näpfchen *b* den Draht einer zweiten, ganz gleichen Platinplatte, welche vorher ebenfalls gehörig gereinigt wurde, und die auch in die saure Flüssigkeit eintaucht, so bleibt die Multiplicatornadel ruhig, weil die beiden Platinplatten elektromotorisch gleich sind. Hat man aber die zweite Platinplatte, die wir mit *p'* bezeichnen wollen, vorher eine Zeit lang in eine Atmosphäre von Wasserstoff eingetaucht, so zeigt sie sich jetzt elektropositiv gegen die andere, die Multiplicatornadel wird in einer Richtung abgelenkt, welche zeigt, daß in der Flüssigkeit ein positiver Strom von *p'* nach *p* geht.

Fig. 227.



Ist die Platte *p'* in eine Atmosphäre von Chlor eingetaucht gewesen, so zeigt sie sich elektronegativ gegen *p*.

Hat die Platinplatte *p'* als negative Polplatte zur galvanischen Wasserzersetzung gedient, so verhält sie sich genau so, als ob sie in eine Flasche mit Wasserstoffgas eingetaucht gewesen wäre.

Taucht man zwei Polplatten von Kupfer in eine gesättigte Auflösung von Kupfervitriol, so findet gar keine galvanische Polarisation Statt, und zwar aus folgendem Grunde. Das Kupfersalz wird durch den Strom in der Art zerlegt, daß Sauerstoff an der positiven, metallisches Kupfer aber an der negativen Polplatte ausgeschieden wird. Hier ist also jede Gasablagerung an den Platten unmöglich; die eine wird stets von neuem mit Kupfer überzogen und der an der anderen Platte ausgeschiedene Sauerstoff wird sogleich wieder durch die Oxydation des Kupfers weggenommen. Während auf der einen Platte sich Kupfer ablagert, wird die andere verzehrt.

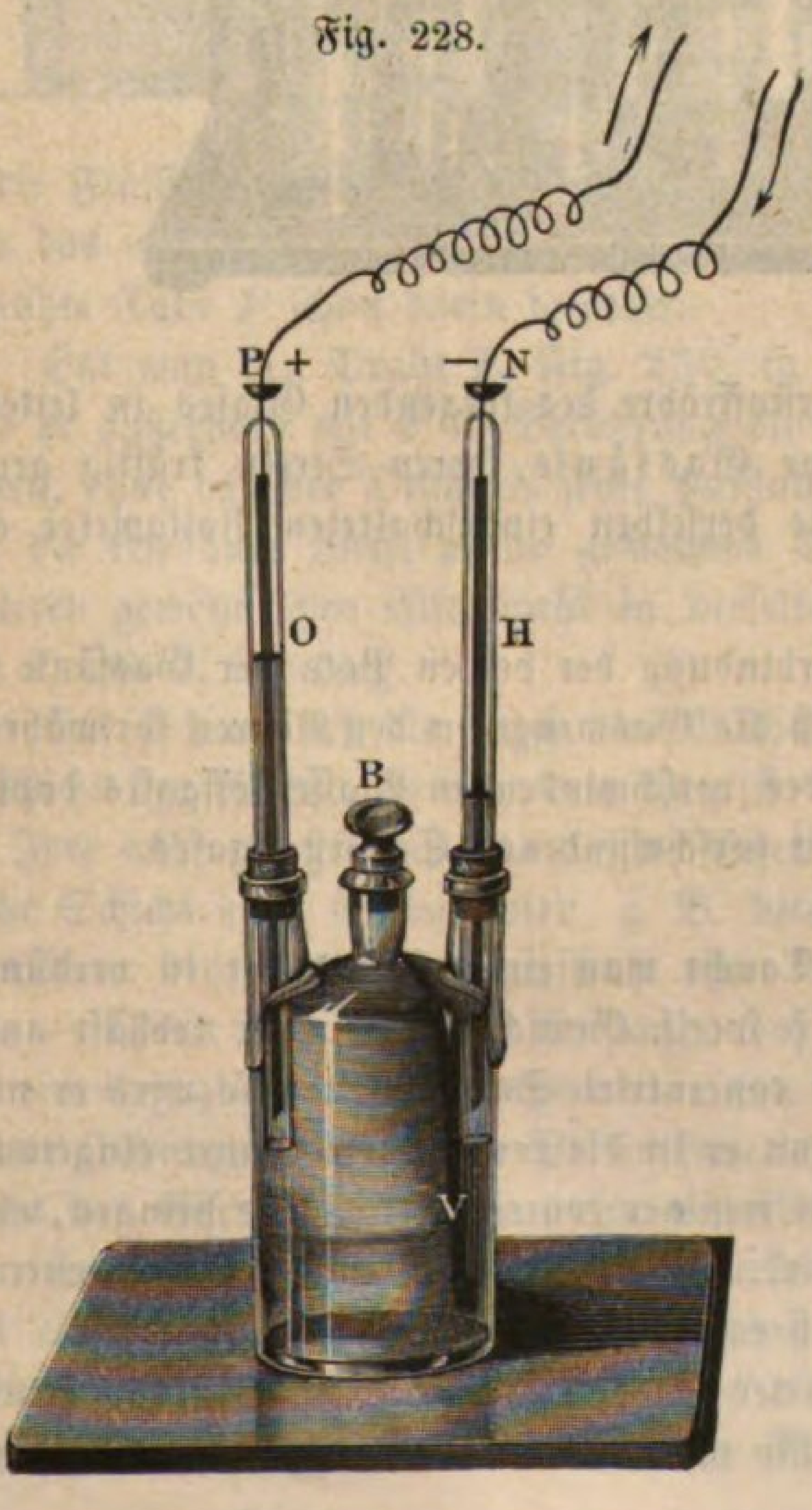
Die Erscheinungen der galvanischen Polarisation geben uns nun auch Aufschluß über die Theorie der constanten Ketten. Der galvanische Strom zersetzt nicht allein die Flüssigkeit im Voltameter, sondern es findet eine ähnliche Zersetzung in jedem Becher, in jeder Zelle des Rheomotors Statt. Der Sauerstoff wandert zur positiven Platte, welche in den meisten Fällen Zink ist, und oxydirt dieselbe, hier findet also keine Gasablagerung Statt, die zu einer

galvanischen Polarisation Anlaß geben könnte; der Wasserstoff lagert sich aber auf der negativen Polplatte ab und kann also eine merkliche Verminderung der ursprünglichen elektromotorischen Kraft bewirken, die sich dann mit der Stromstärke ändert.

Vergleichen wir die Daniell'sche und die Wollaston'sche Säule. Die elektromotorische Kraft der ersten ist 470, die der zweiten nur 208. Der Unterschied beider liegt nur darin, daß in der Wollaston'schen Kette das Kupfer, wie das Zink in verdünnter Schwefelsäure sich befindet, es wird sich also auf der Kupferplatte eine Wasserstoffschicht ablagern, welche schwächend auf die ursprüngliche elektromotorische Kraft des Apparates wirkt. Bei der Daniell'schen Kette dagegen steht die Kupferplatte in einer Lösung von Kupfervitriol, wodurch sie stets rein metallisch erhalten, und eine Ablagerung von Wasserstoff, welche die ursprüngliche elektromotorische Kraft schwächen könnte, unmöglich gemacht wird.

Das Wesen der constanten Ketten besteht also darin, daß eine Wasserstoffablagerung an der negativen Polplatte verhindert wird. Bei der Bunsen'schen und Grove'schen Kette geschieht dies dadurch, daß die negative Polplatte in Salpetersäure steht, welche den ausgeschiedenen Wasserstoff sogleich bei seiner Entstehung wieder oxydirt.

Fig. 228.



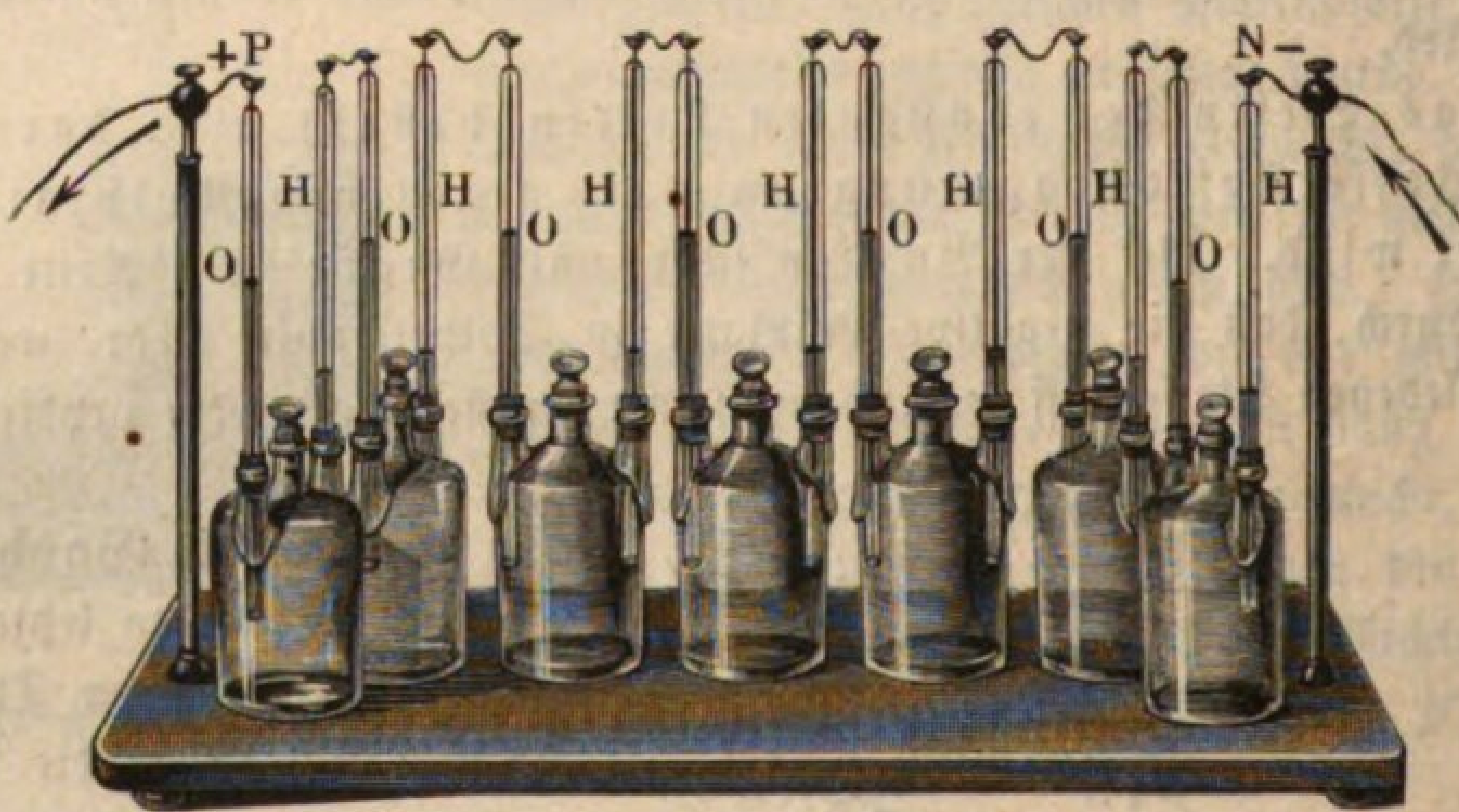
Grove's Gasbatterie. 87

Die in den beiden letzten Paragraphen besprochenen Thatsachen erklären nun auch die Wirkung der von Grove construirten Gasbatterie. Fig. 228 stellt ein einzelnes Elemdnt der Gassäule dar. Ein Glas *V*, welches mit drei Hälsen versehen ist, wird mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt und dann in die beiden seitlichen Hälse mittelst wohlschließender Korke die Glasröhren *O* und *H* eingesteckt. Diese Glasröhren sind unten offen, oben geschlossen; in dem oberen Ende ist aber ein Platindraht eingeschmolzen, welcher oben ein Platinnäpfchen, unten aber ein fast bis zum unteren Ende der Röhre reichendes Streifchen von Platinblech trägt, welches mit Platinmoor überzogen ist. Sind die beiden Röhren eingesetzt, so werden sie zunächst mit

verdünnter Schwefelsäure dadurch gefüllt, daß man den Hals bei *B* schließt und dann das ganze Gefäß umkehrt. Nachdem nun beide Röhren mit der Flüssigkeit gefüllt sind, läßt man in die eine mittelst eines durch die Oeffnung bei *B* eingeführten Gasentbindungsrohres Sauerstoffgas, in die andere aber Wasserstoffgas aufsteigen, und dadurch wird der Apparat in ein galvanisch wirksames Plattenpaar verwandelt, und zwar so, daß das über dem Sauerstoff befindliche Quecksilbernäpfchen zum positiven, das andere zum negativen Pole wird, wie sich dies ohne Weiteres aus den beiden vorhergehenden Paragraphen ergiebt.

Wenn man mehrere solcher Gasbecher in der Weise zusammenstellt, wie es Fig. 229 zeigt, und das Quecksilbernäpfchen einer jeden Wasserstoffröhre mit

Fig. 229.



dem Quecksilbernäpfchen der Sauerstoffröhre des folgenden Glases in leitende Verbindung setzt, so erhält man eine Gassäule, deren Strom kräftig genug ist, um in einem zwischen die Pole derselben eingeschalteten Voltameter eine Wasserzersetzung zu bewirken.

Sobald durch die leitende Verbindung der beiden Pole der Gassäule der Strom hergestellt ist, sieht man, daß die Gasmenge in den Röhren fortwährend abnimmt, und zwar ist die Menge des verschwindenden Wasserstoffgases doppelt so groß, als die des in gleicher Zeit verschwundenen Sauerstoffgases.

88 **Passivität des Eisens.** Taucht man einen Eisendraht in verdünnte Salpetersäure von weniger als 1,35 specif. Gewicht, so wird er lebhaft angegriffen; taucht man ihn dagegen in concentrirte Salpetersäure, so wird er nicht von derselben angegriffen. Ja, wenn er in die concentrirte Säure eingetaucht war, so kann man ihn nun selbst in weniger concentrirte Säure bringen, ohne daß er von derselben angegriffen wird. Durch das Eintauchen in concentrirte Säure ist also der Eisendraht gewissermaßen passiv geworden.

Die Behandlung mit concentrirter Salpetersäure ist jedoch nicht das einzige Mittel, wodurch man Eisen passiv machen kann. Wenn man einen Eisen-

draht in der Weingeistflamme bis zum Anlaufen erhitzt, so wird er dadurch gleichfalls passiv gemacht.

Taucht man in Salpetersäure von 1,35 specifischem Gewicht zuerst einen Platindraht *P*, Fig. 230, berührt man denselben mit einem wohl gereinigten Eisendraht, so wird derselbe nicht von der Säure angegriffen, wenn man ihn in die Flüssigkeit eintaucht, während er außerhalb fortwährend mit dem Platindrahte in Berührung bleibt, obgleich derselbe Draht für sich allein lebhaft von der Säure angegriffen wird.

Fig. 230.

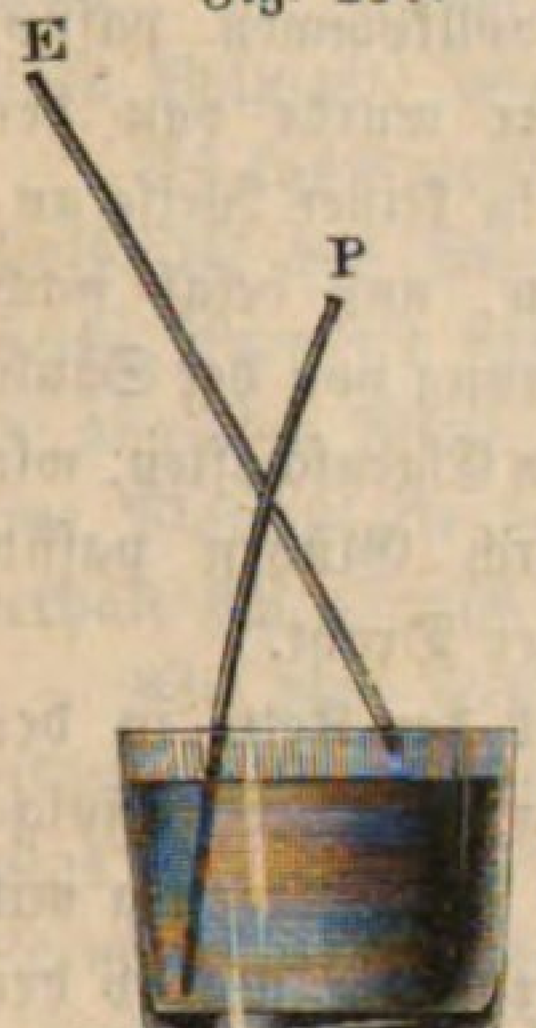
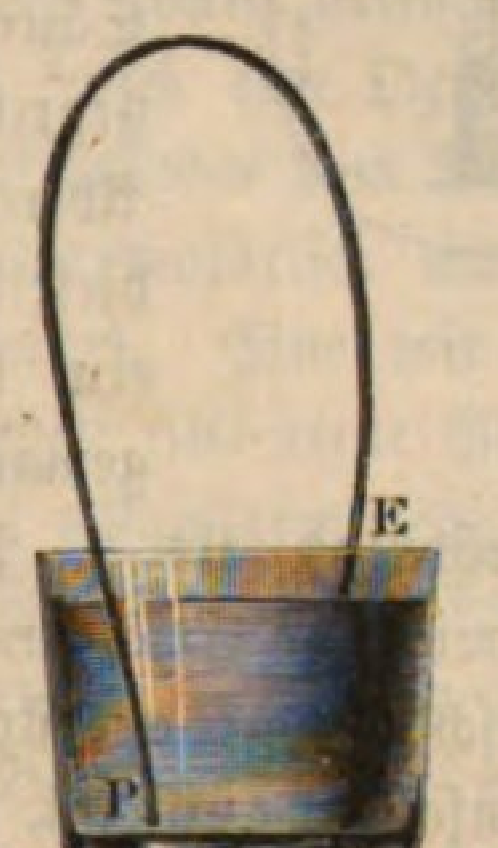


Fig. 231.



Taucht man statt des Platindrahtes das geglühte und dadurch passiv gemachte Ende eines Eisendrahtes in die Flüssigkeit, so kann dieser vollkommen die Rolle des Platindrahtes im vorigen Versuch übernehmen.

Fig. 231 stellt eine Variation dieses Versuches dar. Das geglühte und dadurch passiv gemachte Ende eines Eisendrahtes werde in Salpetersäure von 1,35 specifischem Gewicht getaucht. — Es wird nicht angegriffen. Biegt man aber nun den Draht um, so wird auch das ungeglühte Ende *E* beim Eintauchen in die Flüssigkeit nicht angegriffen, während ein heftiger Angriff erfolgt, wenn man das ungeglühte Ende *E* in die Flüssigkeit eintaucht, ohne daß sich das geglühte Ende *P* schon darin befindet.

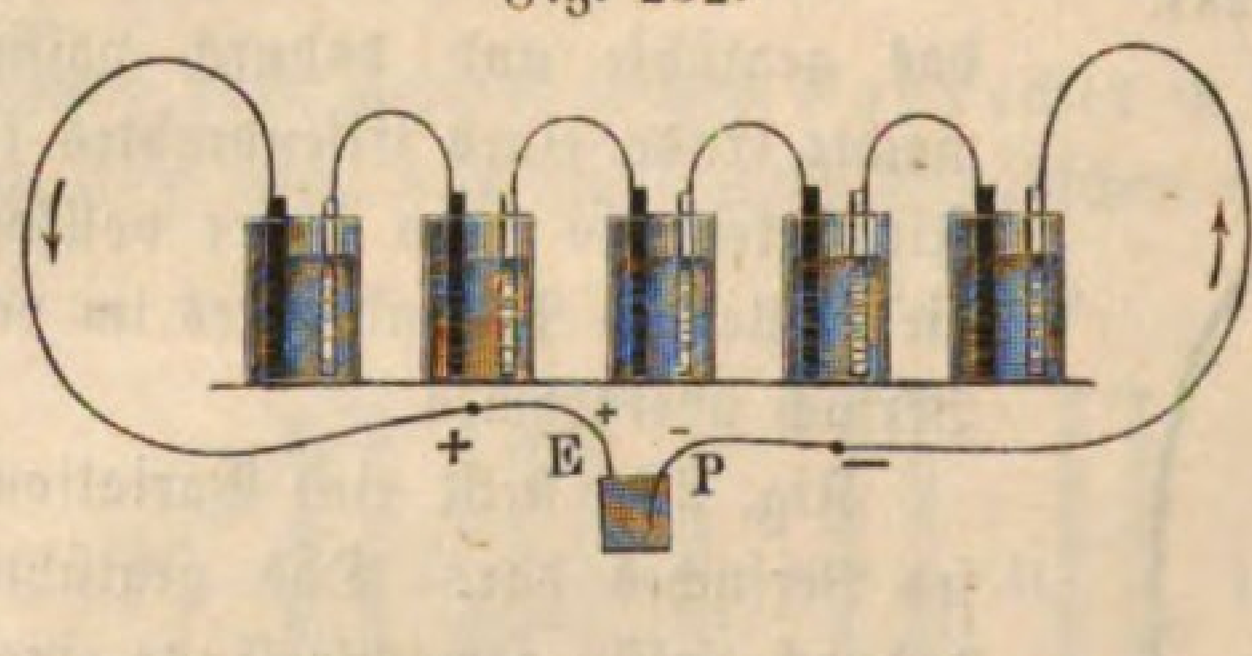
Hat man den Draht *E*, Fig. 230, in die Flüssigkeit eingeschoben, während er außerhalb mit *P* in Berührung blieb, so kann man nun *P* ganz entfernen, ohne daß der Draht *E* seine Passivität verliert; ja man kann mit dem auf die erwähnte Weise passiv gemachten Drahte *E* die Passivität auf einen weiteren gewöhnlichen Eisendraht in derselben Weise übertragen, wie man sie von *P* und *E* übertrug.

Es ist klar, daß die durch das Glühen des Eisendrahtes gebildete Oxydulschicht den Eisendraht vor dem Angriff der Säure schützt, und dadurch ist die Idee nahe gelegt, daß das passive Eisen selbst in solchen Fällen, wo eine solche Schicht nicht sichtbar wird, z. B. beim Eintauchen in concentrirte Salpetersäure, dennoch diese Eigenschaft einer dünnen Oxydulschicht zu verdanken hat. — Dann aber zeigt der Umstand, daß man den Platindraht, Fig. 230, mit einem geglühten Eisendraht vertauschen kann, daß das durch Glühen gebildete Eisenoxydul ganz wie Platin functionirt, daß durch eine solche Oxydulschicht das Eisen gewissermaßen eine negative galvanische Polarisation erleidet.

In dem Fig. 230 dargestellten Versuch bildet *E* offenbar den positiven Pol einer einfachen Kette; es ließ sich also erwarten, daß man Eisen auch dadurch passiv machen kann, daß man es als + Pol einer Volta'schen Säule in eine Säure taucht, die es an und für sich angreifen würde.

Schönbein hat den Versuch wirklich angestellt (Pogg. Ann. Bd. XXXVII, S. 391). An dem + Pol einer aus 15 Wollaston'schen Plattenpaaren bestehenden Säule (einige Becher einer constanten Batterie reichen zu diesem Versuche ebenfalls aus) war ein Eisendraht befestigt, während der negative Pol dieser Säule mit einem Platindraht endigte. Zunächst wurde der negative Platindraht in ein Gefäß mit Salpetersäure von 1,35 specif. Gewicht eingetaucht und dann die Kette durch Eintauchen des mit dem + Pol der Säule verbundenen Eisendrahtes in dieselbe Säure geschlossen, wie Fig. 232 andeutet;

Fig. 232.



es zeigte sich dieser Eisendraht vollkommen passiv, d. h. er wurde von der Säure in keiner Weise angegriffen, und besaß nach Abtrennung von der Säule dieselben Eigenschaften, wie ein durch Glühen passiv gemachter Draht.

Bleibt der passive Eisendraht fortwährend als + Pol der Kette in der Säure eingetaucht, so zeigt sich die merkwürdige Erscheinung, daß der in Folge der Wasserzersetzung an demselben ausgeschiedene Sauerstoff sich nicht etwa mit dem Eisen verbindet, sondern frei an demselben aufsteigt, gerade so, als ob der + Pol der Kette durch einen Platindraht gebildet würde. — Die Oxydschicht, welche sich unter den erwähnten Umständen gleich beim Eintauchen des Eisendrahtes in die Flüssigkeit bildet, schützt ihn vollkommen vor fernerer Oxydation.

Zum Gelingen dieses Versuches ist keineswegs Salpetersäure von 1,35 specif. Gewicht nöthig, man kann dieselbe noch über ihr 100faches Volumen mit Wasser verdünnen und immer noch wird der zuletzt in die Flüssigkeit eingetauchte eiserne + Pol der Säule passiv werden, immer noch wird an demselben ausgeschiedener Sauerstoff frei als Gas aufsteigen.

Ganz ähnliche Erscheinungen finden Statt, wenn anstatt verdünnter Salpetersäure verdünnte Schwefelsäure oder Phosphorsäure angewendet wird. Soll in dieser Säure der Sauerstoff am positiven Eisendraht sich frei entwickeln, so muß ebenfalls der negative Pol der Säule zuerst in die Flüssigkeit eintauchen, und dann erst der mit dem positiven Pol verbundene Eisendraht in dieselbe eingeführt werden.

Taucht man den positiven eisernen Poldraht vor dem negativen Poldraht in die verdünnte Säure, so wird er angegriffen; ebenso wenig wird der Eisendraht passiv, wenn man ihn abgetrennt vom positiven Pol der Säule in die verdünnte Säure taucht, mag der negative Pol bereits in dieselbe eingeführt sein oder nicht. Kurz, wenn das Eisen passiv werden soll, so darf es der chemischen Einwirkung der verdünnten Säure nicht vor der Stromwirkung ausgesetzt sein.

Wendet man statt der verdünnten Säure in diesem Versuche die wässerige Lösung einer Sauerstoffverbindung an, welche nicht merklich chemisch auf das

Eisen einwirkt, wie Lösungen von Alkalien und vollkommen neutralen Salzen, so wird das Eisen immer passiv, wie man auch die Kette schließen mag; bei Anwendung von Kalilauge z. B. oder Salpeterlösung wird das mit dem positiven Pole verbundene Eisen stets passiv, man mag nun den negativen oder positiven Pol zuerst in die Flüssigkeit tauchen. (Pogg. Annal. Bd. XXXVIII. S. 402.)

Darauf gründet sich die Construction von Voltametern, welche durch Platten von Eisenblech gebildet sind, die in Kalilauge eintauchen. In solchem Voltameter entwickelt sich der Sauerstoff frei an der positiven Polplatte, ohne das Eisen anzugreifen.

Es kann wohl als gewiß betrachtet werden, daß die Erscheinungen der Passivität des Eisens durch eine Oxydul- oder Oxydschicht vermittelt werden, welche einerseits das Eisen vor dem Angriff der Säure schützt, andererseits aber in ähnlicher Weise elektromotorisch wirkt wie die Bleihyperoxydschicht, welche eine Platinplatte bekleidet. Eine mit Bleihyperoxyd überzogene Platinplatte verhält sich nämlich gegen eine reine Platinplatte elektro-negativ.

Wie diese Schicht zusammengesetzt ist, unter welchen Bedingungen sie sich bildet, unter welchen sie sich auflöst, sind freilich Fragen, welche noch keineswegs für alle Fälle genügend beantwortet sind, doch liegt darin kein Grund, die oben angedeutete Basis der Erklärung zu verlassen.

Die Bildung der Oxydulschicht beim Glühen der Eisendrähte ist klar. — Damit sich eine ähnliche Schicht beim Eintauchen in eine Flüssigkeit bilden kann, ist es nöthig, daß dem Eisen die zur Bildung der Oxydschicht nothwendige Menge Sauerstoff zugeführt wird, bevor noch irgend eine andere chemische Einwirkung der Flüssigkeit auf das Eisen stattfinden kann.

Concentrirte Salpetersäure ist so reich an Sauerstoff, daß das bloße Eintauchen eines Eisendrahtes in dieselbe genügt, um die passiv machende Schicht zu bilden.

In Flüssigkeiten, welche weniger sauerstoffreich sind, muß ein galvanischer Strom die Zuführung des Sauerstoffes an das Eisen unterstützen, wenn sich die Oxydhülle bilden soll, und zwar muß die den Strom erregende elektromotorische Kraft um so stärker sein, je weniger leicht ausscheidbaren Sauerstoff die Flüssigkeit enthält. In Salpetersäure von 1,35 specif. Gewicht genügt noch die Combination des Eisendrahtes mit Platin; bei verdünnter Schwefelsäure muß man schon eine Volta'sche Säule in Anwendung bringen.

Daß ein Eisendraht, welcher durch bloßes Eintauchen in concentrirte oder durch Combination mit Platin in verdünnter Salpetersäure passiv gemacht worden ist, seinen vollen Metallglanz zeigt, kann keinen Grund abgeben, das Vorhandensein einer dünnen Oxydschicht in diesem Falle in Zweifel zu ziehen, denn diese Schicht muß bei wachsender Dicke die Schattirungen der Newton'schen Farbenringe durchlaufen; so lange also die Schicht nur noch eine den Farben der ersten Ordnung entsprechende Dicke hat, kann sie dem Metallglanz des Drahtes höchstens eine schwache Nüancirung ins Bläuliche oder Gelbliche ertheilen.

In elektromotorischer Beziehung steht die das Eisen passiv machende Schicht dem Platin sehr nahe.

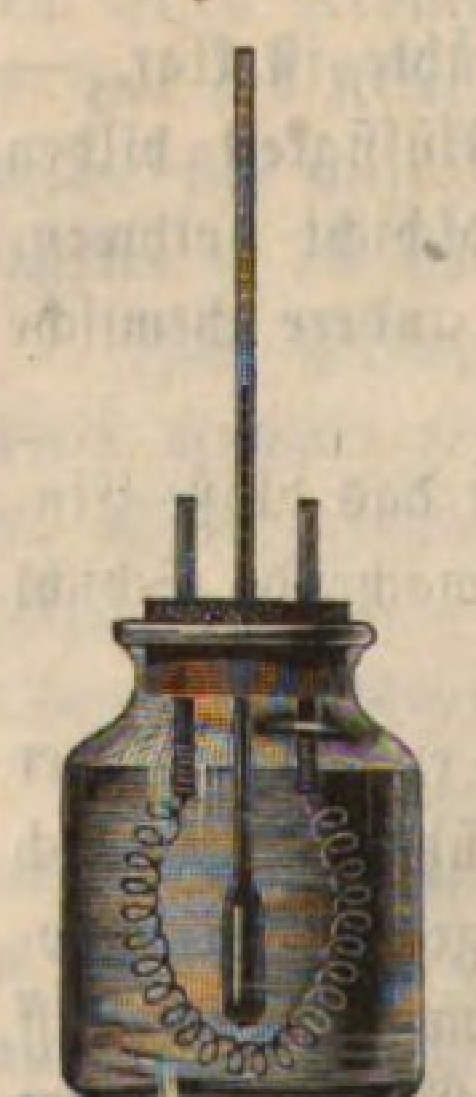
Da das passive Eisen so stark elektronegativ ist, so erklärt sich nun auch leicht, wie es kommt, daß man die Platinplatte der Grove'schen oder den Kohlencylinder der Bunsen'schen Säule durch Eisen ersetzen kann, wie wir Seite 179 gesehen haben, vorausgesetzt, daß es immer in sehr concentrirte Salpetersäure zu stehen kommt.

Auch andere Metalle, namentlich Wismuth, Kupfer und Zinn zeigen ähnliche Passivitätserscheinungen, nur in weit weniger ausgezeichneter Weise.

89 **Wärmeentwickelung durch den galvanischen Strom.** Nachdem wir nun die wichtigsten Gesetze der Stromstärke kennen gelernt haben, gehen wir zur Betrachtung derjenigen Erscheinungen über, welche der elektrische Strom in den durchströmten Körpern hervorbringt, und zwar wollen wir zuerst seine Wirkungen auf Leiter der ersten Classe untersuchen.

Wenn man einen galvanischen Strom durch einen Metalldraht hindurchleitet, so wird derselbe mehr oder weniger erwärmt. Um sich von dieser Thatsache zu überzeugen und das Verhältniß der Erwärmung zu der Stromstärke zu ermitteln, kann man den Fig. 233 dargestellten Apparat anwenden. In den Hals eines mit möglichst wasserfreiem Weingeist gefüllten Glasgefäßes wird ein Kork eingesetzt, in welchem das Rohr eines Thermometers und zwei dicke Kupferdrähte stecken. Die unteren Enden der Kupferdrähte sind durch einen spiralförmig gewundenen, dünnen Platindraht verbunden, dessen Enden an die Kupferdrähte angelöthet sind, und welcher ganz in den Weingeist eingetaucht sein muß. Wird nun dieser Platindraht mittelst der beiden Kupferdrähte in den Schließungsbogen einer Volta'schen Säule eingeschaltet, so wird er erwärmt und giebt alsbald seine Wärme an den Weingeist ab, dessen Temperaturerhöhung man an dem Thermometer ablesen kann.

Fig. 233.



$\frac{1}{3}$

Man muß zu diesem Versuche möglichst wasserfreien Alkohol anwenden (85 bis 86 Procent), weil das Wasser ein so guter Leiter ist, daß bei Anwendung von zu wasserhaltigem Alkohol ein Theil des Stromes nicht durch den Draht, sondern durch die Flüssigkeit hindurchgeht, was man sogleich an einer schwachen Gasentwickelung erkennt.

Joule und Lenz haben die Gesetze der Wärmeentwickelung, welche der galvanische Strom in Metalldrähten hervorbringt, näher untersucht, und sind fast zu denselben Resultaten gelangt.

Lenz wandte zu seinen Untersuchungen einen Apparat an, welcher dem in Fig. 233 abgebildeten ähnlich war; derselbe wurde mit einer Tangentenbussole (einer solchen, bei welcher der Strom in vielen Windungen um die Nadel geleitet war, so daß schon verhältnißmäßig schwache Ströme einen merk-

lichen Ausschlag gaben) in den Schließungsbogen einer Daniell'schen Batterie gebracht. — Mittelst des Rheostaten wurde der Strom stets auf einer bestimmten Stärke erhalten; unterdessen wurde beobachtet, welche Zeit erforderlich ist, damit das Thermometer im Weingeist um eine bestimmte Anzahl von Graden steigt. Dabei wurde durch ein Herumdrehen des Apparates in einem kleinen Kreise die Flüssigkeit in eine rotirende Bewegung gebracht, wodurch eine gleichmäßige Vertheilung der Temperatur im Inneren der Flüssigkeit erzielt wurde.

Um die Fehler zu vermeiden, welche durch den Wärmeverlust an die Umgebung veranlaßt werden, wurde der Weingeist unter die Temperatur der Umgebung erkaltet in die Flasche eingefüllt, und der Versuch geschlossen, als seine Temperatur gerade um eben so viele Grade über die Lufttemperatur gestiegen war, als sie anfänglich darunter stand.

Um den Gang der Untersuchung verständlich zu machen, mag hier derselbe für eine Versuchsreihe ausführlich auseinandergesetzt werden.

Die Temperatur der Luft betrug 16° R. Der Weingeist wurde durch Eis bis auf 7° erkaltet in die Flasche eingefüllt und nach der Schließung der Kette mittelst des Rheostaten die Nadel des Multiplicators fortwährend auf 35° erhalten; es wurden nun an einer Secundenuhr die Momente beobachtet, in welchen die Temperatur des Weingeistes 10, 11, 12, 13, 14 und 15 Grad betrug, dann ferner die Momente, in denen sie 16, 17, 18 u. s. w. bis 22 Grad war.

Es ergab sich, daß die Zeit, welche nöthig ist, um die Temperatur des Weingeistes von

15	bis	17,	also um	2°	zu	erhöhen, . . .	1,05	Minuten
14	»	18	»	» 4	»	»	2,22	»
13	»	19	»	» 6	»	»	3,25	»
12	»	20	»	» 8	»	»	4,30	»
11	»	21	»	» 10	»	»	5,42	»
10	»	22	»	» 12	»	»	6,53	»

betrug; daraus ergiebt sich, daß die Zeit *t*, welche nöthig war, um die Temperatur des Weingeistes um 1° zu erhöhen, im Durchschnitt 0,542 Minuten betrug.

Der Leitungswiderstand des Spiraldrahtes wurde dadurch ermittelt, daß man nach Entfernung des Apparates Fig. 233 aus dem Schließungsbogen beobachtete, wie viel Rheostatenwindungen in die Schließung noch eingeführt werden mußten, um den Strom wieder auf dieselbe Größe zu bringen, welche er bei Einschaltung des Erwärmungsapparates gehabt hatte.

In der folgenden Tabelle sind die Resultate einer großen Anzahl solcher Versuchsreihen zusammengestellt:

Nummer der Versuchsreihe	Drahtsorte	s	t	l
1	Neusilber a	6,93	1,349	93,50
2	»	10,53	0,571	93,63
3	»	14,30	0,300	93,94
4	Neusilber b	10,53	0,920	58,76
5	»	14,30	0,481	58,64
6	»	18,32	0,288	59,01
7	»	14,30	0,457	60,16
8	Neusilber c	18,32	0,384	44,59
9	Platin	14,30	0,555	50,45
10	»	18,32	0,325	51,41
11	Eisen	22,69	0,435	24,92
12	Kupfer	18,32	1,301	13,90
13	»	22,69	0,835	13,90
14	»	27,52	0,575	13,92
15	»	32,98	0,381	14,01
16	»	27,52	0,544	14,31

Es waren drei verschiedene Neusilberdrähte zu den Versuchen angewandt worden; der mit a bezeichnete war der dünnste, b war etwas dicker als a, c endlich etwas dicker als b.

In dieser Tabelle bezeichnet s die Stromstärke und l den Leitungswiderstand des Drahtes in unseren Einheiten ausgedrückt; t ist die Zeit, welche nöthig ist, um die Temperatur des Weingeistes um 1° zu erhöhen. Wie der jedesmalige Werth von t als Resultat einer Versuchsreihe ermittelt wird, ist bereits oben angegeben worden.

Die Quantität des in die Flasche gegossenen Weingeistes war immer fast genau dieselbe und zwar im Mittel 90 Gramm.

Vergleicht man alle diejenigen Versuchsreihen miteinander, bei welchen die Stromstärke dieselbe war, so ergiebt sich, daß das Product von t und l sehr nahe constant bleibt. Es ergiebt sich:

Für den Strom 10,53:

2) Neusilber a . . $tl = 53,46$
4) Neusilber b . . $tl = 54,06$

Für den Strom 14,30:

3) Neusilber *a* . . $tl = 28{,}18$
5) Neusilber *b* . . $tl = 28{,}11$
7) Neusilber *b* . . $tl = 27{,}49$
9) Platin . . . . . $tl = 28{,}00$.

Für den Strom 18,32:

6) Neusilber *b* . . $tl = 16{,}99$
8) Neusilber *c* . . $tl = 17{,}12$
10) Platin . . . . . $tl = 16{,}71$
12) Kupfer . . . . . $tl = 18{,}08$.

Für den Strom 22,69:

11) Eisen . . . . . $tl = 10{,}84$
13) Kupfer . . . . . $tl = 11{,}60$.

Die Gleichheit der Werthe von tl für ein und denselben Strom ist so augenfällig, daß die Annahme gerechtfertigt ist, die Erwärmungszeit sei dem Leitungswiderstande umgekehrt proportional, oder mit anderen Worten, die Erwärmungen in bestimmter Zeit seien dem Leitungswiderstande direct proportional und unabhängig von der sonstigen Natur des Metalls.

Um die Abhängigkeit der Wärmeerzeugung von der Stromstärke zu ermitteln, müssen wir die Versuche zusammenstellen, welche mit demselben Drahte bei verschiedenen Strömen angestellt wurden; es zeigt sich alsdann, daß für denselben Draht s^2t nahezu eine constante Größe ist. Es ergiebt sich nämlich:

Für den Neusilberdraht *a*:

1) . . . . $s^2t = 64{,}8$
2) . . . . $s^2t = 63{,}3$
3) . . . . $s^2t = 61{,}3$.

Für den Neusilberdraht *b*:

4) . . . . $s^2t = 102{,}0$
5) . . . . $s^2t = 98{,}4$
6) . . . . $s^2t = 96{,}7$
7) . . . . $s^2t = 93{,}5$.

Für den Platindraht:

9) . . . . $s^2t = 113{,}5$
10) . . . . $s^2t = 109{,}1$.

Für den Kupferdraht:

12) . . . . $s^2t = 436{,}6$
13) . . . . $s^2t = 429{,}9$
14) . . . . $s^2t = 435{,}5$
15) . . . . $s^2t = 414{,}2$
16) . . . . $s^2t = 412{,}0$.

Durch diese Versuche ist also dargethan:

1) Die Wärmeentwickelung ist dem Leitungswiderstande der Drähte proportional.

2) Die Wärmeentwickelung ist den Quadraten der Stromstärke proportional.

Wenn demnach t die Zeit ist, welche erfordert wird, damit durch den Strom s bei dem Leitungswiderstande l eine gegebene Weingeistmasse um 1° R. erwärmt werde, so ist s^2tl die Zeit, welche nöthig ist, damit dieselbe Weingeistmasse eine Temperaturerhöhung von 1° R. durch die Einheit der Stromstärke bei der Einheit des Leitungswiderstandes erfahre. — Da nun die Weingeistmasse stets sehr nahe dieselbe war, so muß auch das Product s^2tl für alle in der Tabelle verzeichnete Versuchsreihen sehr nahe dasselbe sein. Es ergeben sich für das Product s^2tl für die verschiedenen Versuchsreihen folgende Werthe:

Versuchsreihe.	s^2tl.
1	6059
2	5927
3	5758
4	5994
5	5770
6	5706
7	5625
8	5747
9	5726
10	5609
11	5975
12	6069
13	5976
14	6062
15	5803
16	5896
Mittel	5856.

Die Masse des Weingeistes, welcher in den obigen Versuchsreihen erwärmt wurde, betrug sammt der zu erwärmenden, in Beziehung auf specifische Wärme auf Weingeist reducirten Glasmasse 118 Gramm.

Die Einheit der Stromstärke, welche durch einen Draht von demselben Leitungswiderstande hindurchgeht, entwickelt also so viel Wärme, daß dadurch die Temperatur von 118 Gramm Weingeist in 5856 Minuten um 1° R. erhöht wird.

Die specifische Wärme des zu den besprochenen Versuchen benutzten Weingeistes ist 0,7; eine bestimmte Temperaturerhöhung von 118 Grammen Weingeist erfordert also eben so viel Wärme, wie eine gleiche Temperaturerhöhung von 118 . 0,7 = 82,6 Grammen Wasser. Für 1 Gramm Wasser beträgt also jene Zeit

$$\frac{5856}{82,6} = 70,9 \text{ Minuten,}$$

oder wenn man statt der Reaumur'schen Grade Celsius'sche einführt,

$$70,9 \,.\, 0,8 = 56,72 \text{ Minuten,}$$

d. h., wenn die Einheit der Stromstärke einen Draht durchläuft, dessen Widerstand gleich ist dem eines Kupferdrahtes von 1 Meter Länge und 1^{mm} Durchmesser, so wird dadurch eine solche Wärmemenge erzeugt, daß sie die Temperatur von 1 Gramm Wasser in $56^{3}/_{4}$ Minuten um 1° C. erhöht.

Nehmen wir, wie es gewöhnlich geschieht, als Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge an, welche die Temperatur von 1 Kilogramm Wasser um 1° erhöht, so ergiebt sich also aus obigen Untersuchungen, daß die Einheit der Stromstärke, die Einheit des Widerstandes durchlaufend, in demselben in einer Stunde 0,001057 und in einer Minute 0,0000176 Wärmeeinheiten erzeugt.

Glühen von Metalldrähten durch den galvanischen Strom. 90

Während über die Glüherscheinungen von Metalldrähten durch den Entladungsschlag der Leydner Flasche die schönen Arbeiten von Rieß Licht verbreitet hatten, fehlte es an entsprechenden Untersuchungen über das galvanische Glühen, obgleich diese mit wenigeren Schwierigkeiten verbunden sein dürften als jene.

Um diese Lücke wenigstens theilweise auszufüllen, habe ich eine Versuchsreihe angestellt, welche in meinem »Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik« Seite 384 ausführlich mitgetheilt worden ist. Ich entnehme von dort Folgendes.

Die Kette wurde stets erst dann geschlossen, nachdem der zu untersuchende Draht in dem Schließungsbogen gehörig befestigt war. — Das Maximum des Glühens stellte sich nicht momentan nach der Schließung ein, sondern es dauerte namentlich bei längeren und dickeren Drähten stets eine Anzahl von Secunden, bis das der Stromstärke entsprechende Glühen sich vollständig einstellte.

Außer dem zu prüfenden Drahte war auch noch eine Tangentenbussole in den Schließungsbogen eingeschaltet, um jederzeit die Stromstärke zu messen. Der Reductionsfactor für dieses Instrument ist 70.

Zuerst wurde der Einfluß der Länge des Drahtes auf die Glüherscheinung untersucht, indem der Reihe nach verschieden lange Stücke desselben Drahtes in den Schließungsbogen gebracht wurden. Mehrere solche Versuchsreihen führten zu dem Resultat, daß ein und derselbe Draht bei gleicher Stromstärke auch stets dieselbe Glüherscheinung zeigt, welche Länge er auch haben mag.

Für einen Platindraht von $0,45^{mm}$ Durchmesser trat bei verschiedener Länge des in den Schließungsbogen eingeschalteten Stückes stets ein stellenweises schwaches Glühen bei einer Stromstärke ein, welche der Ablenkung von 45 bis 46° an der Tangentenbussole entspricht. Mit einer Säule von 40 nicht stark geladenen Zinkkohlenbechern erzielt man diese Glüherscheinung an einem Drahtstück von 1,3 Meter Länge. Eine Säule von 24 solchen Bechern

bringt die oben genannte Stromstärke und dieselbe Glüherscheinung an einem 0,5 Meter langen und endlich eine Säule von 12 Bechern an einem 0,4 Meter langen Drahtstück hervor.

Das Rothglühen trat bei verschiedenen Längen stets mit einer Stromstärke ein, welche an der Tangentenbussole 48° Ablenkung bewirkte.

Hellrothglühen trat bei einer Ablenkung von 50 bis 51° ein.

Eisendrähte von 0,42^mm^ Durchmesser glühten stellenweise bei einer Ablenkung von 32 bis 33°; sie wurden stark rothglühend bei 35°.

Wenn der Draht über eine gewisse Gränze verkürzt wird, so wirkt die Wärmeableitung durch die metallenen Halter störend auf die Glüherscheinung ein. Ein Platindraht von 0,21^mm^ Durchmesser und 3 Centimeter Länge durch zwei starke messingene Klammern gehalten, wurde in den Schließungsbogen eines Bunsen'schen Bechers gebracht, bis zum schwachen Rothglühen erwärmt, während die Tangentenbussole 26° Ablenkung zeigte; als aber derselbe Draht bis auf 1 Centimeter verkürzt wurde, stieg die Ablenkung der Tangentenbussole bis auf 34°, ein Glühen wurde aber nicht mehr beobachtet.

Betrachten wir nun den Einfluß, welchen die Dicke der Drähte auf die Glüherscheinung ausübt.

Die folgende Tabelle giebt die Resultate einer Versuchsreihe, welche mit Platindrähten von 1 Decimeter Länge und veränderlichem Durchmesser angestellt wurde.

Durchmesser D	Grad des Glühens	Ablenkung v	Stromstärke $s = 70\,tang.\,v$	$\frac{s}{D}$
0,3^mm^	Schwaches Glühen	34°	47,18	163,9
»	Rothglühen	36	50,82	169,4
»	Hellrothglühen	38	54,67	182,2
»	fast Weißglühen	42	63,00	210,0
0,39	schwaches Glühen	43	65,24	163,7
»	Rothglühen	46	72,45	185,5
»	Hellglühen	48	77,77	199,5
0,45	schwaches Glühen	47	75,06	166,6
»	Rothglühen	48	77,77	172,2
»	Hellrothglühen	50,3	84,42	187,6
»	fast Weißglühen	56	103,74	230,3
0,75	Rothglühen	60	121,24	161,7
»	Hellrothglühen	66	157,22	209,3.

Diese Versuchsreihe rechtfertigt die Annahme, daß, um denselben Grad des Glühens hervorzubringen, die Stromstärke dem Durchmes-

ser der Drähte proportional sein muß; nach diesem Gesetze muß für denselben Grad des Glühens der Quotient der Drahtdicke in die entsprechende Stromstärke, eine constante Größe sein.

Dieser Quotient ist nach obigen Versuchen im Mittel:

für schwaches Glühen	165
für Rothglühen	172
für helles Rothglühen	195
für anfangendes Weißglühen	220

Eine entsprechende Versuchsreihe mit Eisendraht gab ähnliche Resultate. Der Quotient $\frac{s}{D}$ hatte im Mittel für eiserne Drähte folgende Werthe:

für schwaches Glühen	121
für Rothglühen	135.

Versuche mit Kupferdraht ergaben im Mittel:

für schwaches Glühen	389
für Rothglühen	433.

Die oben mitgetheilten Mittelwerthe des Quotienten $\frac{s}{D}$ geben die Größe der Stromstärke an, welche nöthig ist, um einen Draht von 1^{mm} Durchmesser in den entsprechenden Glühzustand zu versetzen. Diese Zahlenwerthe sind jedoch nur als erste Annäherungen zu betrachten.

Ist s die Stromstärke, welche einen Draht von 1^{mm} Durchmesser glühend macht, so ist dem oben ermittelten Gesetz zufolge $s\,d$ die Stärke des Stromes, welcher einen Draht desselben Materials, dessen Durchmesser d Millimeter beträgt, bis zu demselben Grad des Glühens bringt.

Die eben besprochenen Beziehungen zwischen Glüherscheinung, Stromstärke und Drahtdicke scheinen mir mit den Lenz'schen Versuchen über Wärmeentwickelung nicht zu harmoniren. Nach Lenz ist die Wärmeentwickelung, welche ein galvanischer Strom in Metalldrähten hervorbringt, dem Quadrate der Stromstärke und dem Leitungswiderstande des Drahtes proportional; wir können demnach

$$W = s^2 l \qquad 1)$$

setzen, wenn wir mit W die Wärmemenge bezeichnen, die in einem Drahte (innerhalb einer gegebenen Zeit) entwickelt wird, dessen Widerstand l ist, wenn die Stromstärke s hindurchgeht. Es sei nun W die Wärmemenge, welche in einer gegebenen Zeit in dem Drahte entwickelt werden muß, wenn er rothglühend werden soll. — Wird nun der Draht durch einen gleich langen, aber $n$mal dickeren Draht desselben Metalles ersetzt, so wird die Oberfläche dieses neuen Drahtes $n$mal so groß sein, die $n$fache Oberfläche giebt caeteris paribus $n$mal so viel Wärme an die Umgebung ab, es muß also $n$mal so viel Wärme, also $n\,W$, in dem dickeren Draht entwickelt werden, wenn er die gleiche Glüherscheinung hervorbringen soll.

Der Leitungswiderstand des $n$mal dickeren Drahtes ist aber $\frac{l}{n^2}$. Bezeichnen wir mit s' die Stromstärke, welche ihn rothglühend macht, so haben wir also die Gleichung

$$n\,W = s'^2 \frac{l}{n^2} \ldots\ldots$$

also

$$W = s'^2 \frac{l}{n^3} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2)$$

und durch Combination der Gleichungen 1) und 2)

$$s'^2 = n^3 s^2$$

oder

$$s' = s\sqrt{n^3} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3)$$

um also einen doppelt und dreimal so dicken Draht glühend zu machen, hätte man dieser Betrachtung zufolge einen 2,83 und einen 5,19mal stärkeren Strom nöthig, während meinen Beobachtungen zufolge ein 2mal und ein 3mal so starker Strom dazu hinreicht; kurz, meiner Beobachtung zufolge müßte zwischen s' und s anstatt der Gleichung 3) die Gleichung

$$s' = ns$$

bestehen. — Die Abweichungen sind viel zu bedeutend, als daß ich glaube, sie auf Kosten von Beobachtungsfehlern setzen zu dürfen.

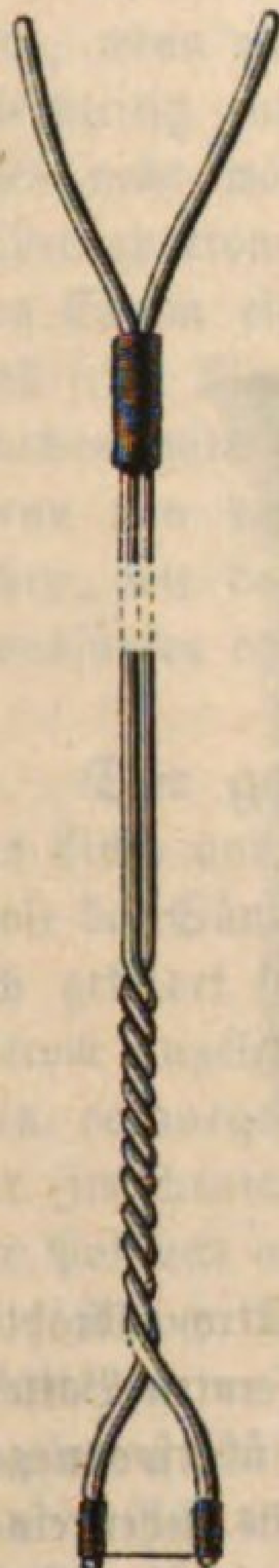
Der Grund dieser auffallenden Differenz liegt wahrscheinlich darin, daß ein $n$mal dickerer Draht bei $n$facher Wärmeentwickelung zwar an der Oberfläche dieselbe Temperatur haben, im Inneren aber heißer sein wird als der dünnere, so daß man durch die äußeren Schichten hindurch ein stärkeres Glühen beobachtet. Ist dem wirklich so, so wird ein $n$mal dickerer Draht dem Auge denselben Grad des Glühens schon bei einer weniger als $n$fachen Wärmeentwickelung zeigen müssen.

91 **Anwendung des galvanischen Glühens zum Sprengen der Felsen.** Durch Reibungselektricität kann man zwar Pulver entzünden, wie wir bereits auf Seite 127 gesehen haben. Wenn nun somit das Felsensprengen mittelst Reibungselektricität allerdings möglich ist, so stellen sich doch diesem Verfahren viel zu große Schwierigkeiten entgegen, als daß die Verbreitung desselben in der Praxis erwarten könnte. Hare brachte zuerst das Glühen der Metalldrähte durch den galvanischen Strom behufs der Felsensprengung in Anwendung, aber erst Roberts hat eine allgemeinerer Verbreitung fähige Methode des galvanischen Felsensprengens angegeben.

Um nicht erst für jede Explosion den feinen zwischen den Leitungsdrähten ausgespannten Eisendraht vorrichten zu müssen, erdachte Roberts Patronen, von denen man stets eine Anzahl vorräthig halten kann. Die Anfertigung der Patronen geschieht auf folgende Weise. — Zwei Kupferdrähte, jeder von

10 Fuß Länge, gegen 1 Linie dick und gut mit wohlgewichstem Baumwollen- oder Wollengarn übersponnen, werden dicht neben einander gelegt; an dem einen Ende werden dann die beiden Drähte auf eine Länge von 6 Zoll hin zusammengedreht, wie es Fig. 234 angedeutet, bis auf zwei Hörner von etwas über 1/2 Zoll Länge, die am freien Ende 1/2 Zoll von einander abstehen. Die freien Enden dieser Hörner werden nun von ihrer Bedeckung befreit und mit der Feile geputzt, und zwischen ihnen der feine Eisendraht ausgespannt. Seine Enden kann man auf die Enden der Hörner aufwickeln und mit Zinn festlöthen.

Fig. 234.



Der eiserne Entzündungsdraht wird natürlich bei jeder Explosion vernichtet; damit dies aber nicht auch mit den kupfernen Leitungsdrähten der Fall sei, werden die beiden Drähte zusammen dick mit Faden, wie es am oberen Ende der Figur angedeutet ist, und dann noch einmal mit feinem Binddraht umwickelt.

Der Körper der Patrone ist eine Zinnröhre von 3 Zoll Länge und 3/4 bis 1 Zoll Weite, welche zusammengelöthet und vollkommen wasserdicht ist. (Man könnte wohl auch eine Glasröhre nehmen.) Der feine Eisen- oder Stahldraht befindet sich ungefähr in der Mitte des Cylinders. Er wird dadurch an seiner Stelle erhalten, daß die gedrehten Drähte durch einen Kork hindurchgehen, welcher an dem einen Ende der Röhre eingesteckt ist. Das beste Verfahren, die zusammengedrehten Drähte hier gehörig festzuhalten, besteht darin, den Korkstopfen seiner Länge nach zu spalten, und ihn, nachdem die Drähte zwischen die beiden Stücke gelegt worden, in die Röhre zu zwängen. Da die zusammengedrehten Drähte doch etwas dick sind, so ist es nothwendig, vorher eine kleine Rinne in die Korkstücke einzuschneiden. — Ist der Kork so eingesteckt, daß die Hörner die Wand nirgends berühren, so wird er mit gutem Kitt überzogen. Roberts empfiehlt dazu einen Kitt, bestehend aus 1 Theil Bienenwachs und 2 Theilen Harz.

Nun wird von dem offenen Ende her die Röhre mit trockenem Jagdpulver gefüllt, und dann auch hier ein Kork eingesetzt, der wie der andere wohl verpicht werden muß.

Fig. 235 (a. f. S.) zeigt die ganze Patrone.

Wie die Patrone in das Bohrloch eingesetzt wird, zeigt Fig. 236. Nachdem es gehörig von Staub und Feuchtigkeit gereinigt worden ist, schüttet man die Hälfte der beabsichtigten Pulverladung in das Loch, legt die Patrone darauf und schüttet den übrigen Theil der Ladung darüber. Die Patrone befindet sich also in der Mitte der Ladung, und ihre langen zusammengewickelten Drähte stehen noch mehrere Fuß über den Felsen hervor. Das Pulver wird nicht eingestampft.

Nun wird ein Pfropf von Stroh oder Werg sanft in das Loch hinunter-

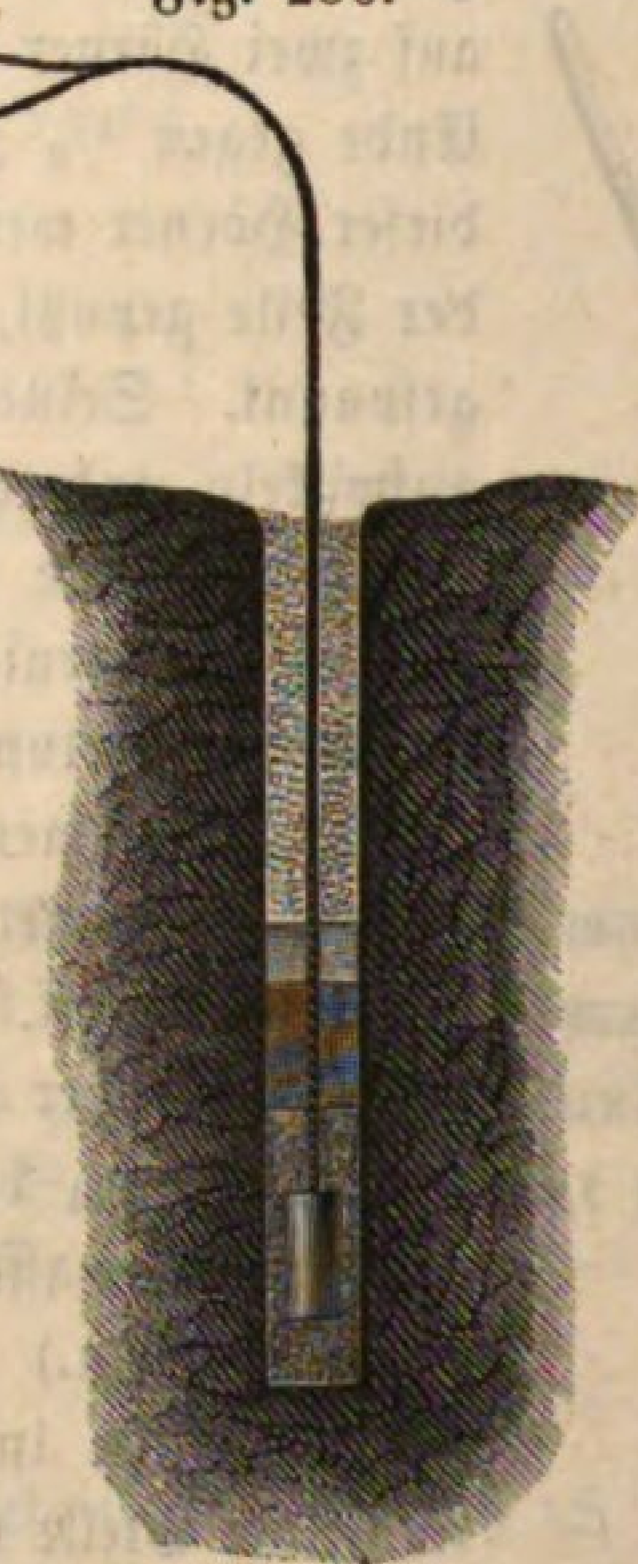
geschoben, so daß ein lufterfüllter Raum, dessen Größe natürlich von den Umständen abhängt, zwischen ihm und dem Pulver bleibt. Auf den Pfropf wird trockener Sand geschüttet, bis das Loch voll ist.

Fig. 235.



$\frac{1}{2} - \frac{1}{3}$

Fig. 236.



Die beiden gabelförmig auseinander stehenden Enden der Patronendrähte müssen nun durch Zuleitungsdrächte mit der 60 bis 90 Fuß entfernten Batterie verbunden werden. Diese Zuleitungsdrähte sind gleichfalls übersponnene Kupferdrähte von ungefähr 1 Linie Durchmesser; sie sind gleichfalls neben einander gelegt und dann gemeinschaftlich mit Faden umwickelt; nur stehen ihre freien Enden auf beiden Seiten gabelförmig auseinander, um auf der einen Seite mit den Patronendrähten, auf der anderen mit den Polen der Kette verbunden zu werden.

Die Person, welche die Schließung der Batterie, also die Entzündung der Mine zu besorgen hat, muß unter Umständen noch weiter von dem Bohrloche entfernt sein, als die Batterie; man muß also eine Vorrichtung haben, um die Schließung der Kette aus der Ferne, etwa mittelst einer Schnur, besorgen zu können.

Außer der Verminderung der Gefahr hat diese Methode der Felsensprengung noch andere bedeutende Vorzüge: sie erlaubt ohne große Schwierigkeiten eine Entzündung des Pulvers unter Wasser vorzunehmen. Zu diesem Zwecke befindet sich die ganze, zur Sprengung anzuwendende Pulvermasse in wasserdicht verschlossenen Blechbüchsen, die nur an den gehörigen Ort zu bringen sind, um ihre Wirkung zu thun. Es versteht sich von selbst, daß die Zuleitungsdrähte, so weit sie in Wasser eintauchen, mit einer vollkommen isolirenden Schicht umgeben sind, welche eine Benetzung des Drahtes unmöglich macht,

indem sonst das Wasser eine Nebenschließung bildet und nur ein kleiner Theil des von der Batterie gelieferten Stromes durch den dünnen Draht gehen kann.

Von besonderem Vortheile würde es beim Wegsprengen großer Massen sein, wenn man mehrere benachbarte zweckmäßig vertheilte Minen vollkommen gleichzeitig entzünden könnte; nach der oben beschriebenen Methode läßt sich dies nicht wohl erreichen, weil die dünneren Drähte in den verschiedenen Sprengpatronen nie absolut gleich sind, so daß, wenn sie auch gleichzeitig in den Strom eingeschaltet werden, doch irgend einer vor den anderen erglüht und seine Mine in die Luft sprengt, wodurch dann natürlich der Strom unterbrochen wird und die übrigen Minen unangezündet bleiben. Weiter unten, wenn von den Inductionsapparaten die Rede sein wird, werden wir sehen, wie das gleichzeitige Sprengen mehrerer Minen mit Hülfe von Inductionsfunken bewerkstelligt werden kann.

Der galvanische Flammenbogen. Eine bedeutende Steigerung 92
des Licht- und Wärmeeffectes tritt ein, wenn man die beiden Leiter, welche als Pole der Säule dienen, in Berührung bringt und dann, nachdem der Strom sich gebildet hat, sie wieder etwas von einander entfernt. Ist einmal der Strom eingeleitet, so wird er durch diese Trennung der Pole nicht unterbrochen, vorausgesetzt, daß die Säule eine bedeutende Spannung hat und daß der Zwischenraum gewisse Gränzen nicht überschreitet, welche von der Natur der Polstücke abhängt.

Als H. Davy zugespitzte Kohlenstücke als Pole einer Säule von 2000 Plattenpaaren (Zink und Kupfer) anwandte, bildete sich bei dem oben angegebenen Verfahren zwischen den beiden Kohlenspitzen, welche selbst ein blendendes Licht ausstrahlten, ein nach oben gewölbter Flammenbogen, welcher erst erlosch, als die Polstücke 3 Zoll weit von einander entfernt worden waren.

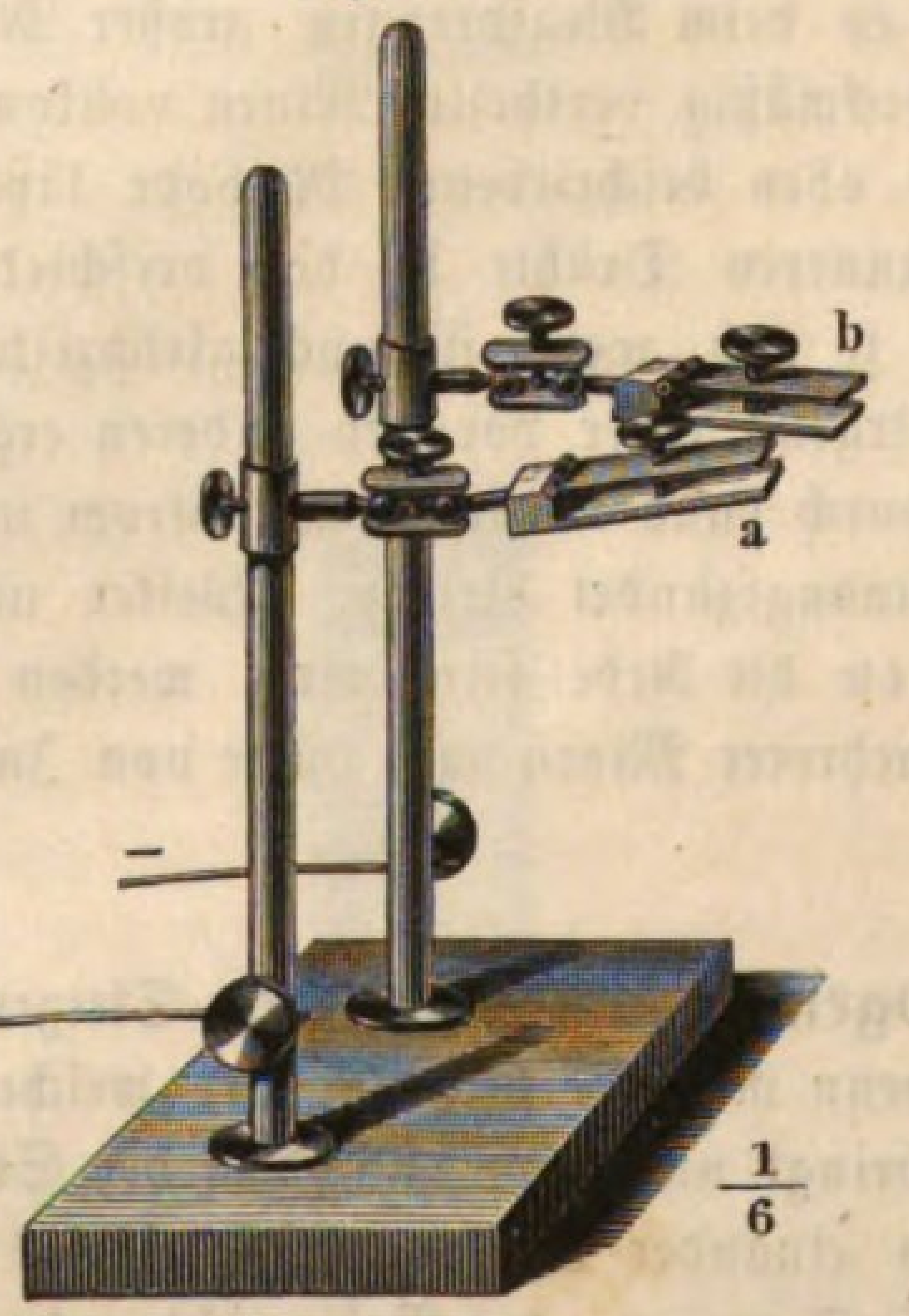
Obgleich die von Davy angewandten Kohlen möglichst feste und dichte Holzkohlen waren, so waren sie bei diesem Versuche doch einem raschen Verbrennen ausgesetzt; um diese Verbrennung zu verhindern, schloß er sie in einen Glasballon ein, welcher luftleer gemacht werden konnte.

Mit großem Vortheil lassen sich nun die zu dem Davy'schen Versuche verwendeten Holzkohlen durch zugespitzte Stäbchen ersetzen, welche aus der Bunsen'schen Kohlenmasse verfertigt sind. Wegen ihrer größeren Dichtigkeit leitet diese Masse den Strom besser als Holzkohle und es genügt deshalb, zur Anstellung des Versuches schon eine geringere Anzahl von Plattenpaaren; dann aber sind solche Bunsen'schen Kohlenstücke weit weniger der Verbrennung ausgesetzt, weshalb sie die Anwendung des luftleeren Raumes entbehrlich machen.

Fig. 237 (a. f. S.) stellt einen Polhalter dar, welcher zu vielen galvanischen Versuchen, namentlich aber auch zur Hervorbringung des elektrischen Kohlenlichtes mit Vortheil gebraucht werden kann. Die zugespitzten Kohlenstücke werden in die Zangen *a* und *b* eingeklemmt, welche in Kugelcharnieren

nach allen Seiten hin drehbar und an messingenen, ungefähr 12 Zoll von einander abstehenden Säulen nach Belieben auf und nieder geschoben werden können.

Fig. 237.



In die eine dieser Säulen ist der positive, in die andere ist der negative Poldraht eingeschraubt, so daß die bei *a* eingeklemmte Kohle den positiven, die bei *b* eingeklemmte den negativen Pol bildet.

Mit Hülfe dieser Vorrichtung kann man die Kohlenspitzen leicht und sicher in Berührung bringen und dann nach Belieben wieder von einander entfernen. Der Abstand, bis auf welchen man die Kohlenspitzen von einander entfernen kann, ohne daß der Strom unterbrochen wird und der Flammenbogen verlischt, darf um so größer gemacht werden, je mehr die elektromotorische Kraft der Säule wächst und je weniger fest die Kohlenmasse der Polspitzen ist.

Mit einer Säule von 6 bis 10 Bunsen'schen Bechern ist die ganze Erscheinung noch ziemlich unbedeutend; mit einer Säule von 30 bis 50 solcher Becher erhält man aber schon ein Licht, welches das Drummond'sche Kalklicht weit hinter sich zurückläßt.

Um den Strom zwischen den Kohlenspitzen einzuleiten, ist es nicht durchaus nothwendig, die Kohlenpole erst mit einander in Berührung zu bringen; es kann auch dadurch geschehen, daß man zwischen den beiden in gehörige Entfernung gebrachten Kohlenspitzen einen elektrischen Funken überschlagen läßt.

Das Licht an den Kohlenspitzen ist viel zu blendend, als daß man die Details der Erscheinung übersehen könnte; will man diese näher untersuchen, so ist es am zweckmäßigsten, den Flammenbogen durch eine Linse von 2 bis 3 Centimeter Brennweite oder ein entsprechendes Linsensystem auf einen Schirm zu projiciren.

Fig. 1 auf Tab. I. stellt den auf die angegebene Weise projicirten galvanischen Lichtbogen dar. Die Lichtstärke des Lichtbogens selbst ist nicht bedeutend, dagegen strahlen die Enden der beiden Kohlenspitzen, auf welchen der Lichtbogen gleichsam aufsitzt, ein blendendes Licht aus. Bei aufmerksamer Betrachtung des Phänomens fällt aber sogleich ein auffallender Unterschied zwischen den beiden Polspitzen auf. Der negative Pol erscheint mehr zugespitzt und an dieser Spitze ist die Lichtentwickelung am energischsten, während das Ende des positiven Pols mehr oder weniger ausgehöhlt erscheint. Während die negative Polspitze längere Zeit fast unverändert erscheint, nimmt die Masse des positiven Pols rasch ab und es ist dabei ein Ueberwandern materieller Theilchen vom positiven zum negativen Pol nicht zu verkennen.

Was die Wärmeentwickelung betrifft, so ist dieselbe am positiven Pole am bedeutendsten, denn wenn man, nachdem das Phänomen eine Zeit lang gedauert hat, den Strom unterbricht, so erscheint der positive Pol noch dunkel rothglühend, während der negative vollkommen dunkel erscheint.

Wenn man bei diesem Versuche den einen der beiden Kohlenpole durch einen starken Eisendraht ersetzt, so wird derselbe unter lebhaftem Funkensprühen verbrannt; ein Kupferdraht verbrennt mit grünlichem Licht und ein Streifen Zinkblech mit bläulicher Flamme, wenn sie bei der Bildung des galvanischen Lichtbogens die Stelle des einen Kohlenpols vertritt. Die unter diesen Umständen entwickelte Wärme genügt, um an einen dicken Platindraht sogleich eine Kugel anzuschmelzen.

Der galvanische Lichtbogen entsteht auch, wenn beide Pole durch Metall gebildet sind. Bei leicht schmelzbaren oder bei leicht oxydirbaren Metallen, wie Zink oder Eisen, ist er größer als beim Platin oder Silber. Die Größe des Lichtbogens steht in Beziehung zur größeren oder geringeren Leichtigkeit, mit welcher die Substanz der Pole sich zu zertheilen fähig ist; denn da der Lichtbogen durch Ueberführung fein vertheilter Substanz von einem Pole zum anderen erzeugt und erhalten wird, so muß seine Bildung nothwendig durch eine geringere Cohäsion der Polstücke begünstigt werden; deshalb kann man auch zwischen Kohlenspitzen, unter sonst gleichen Umständen den größten Lichtbogen hervorbringen.

Der Flammenbogen zeigt in seiner Lage und Gestalt eine große Veränderlichkeit, indem die blendenden Ausgangspunkte desselben fortwährend ihre Stelle ändern.

Nach den Versuchen von van Breda findet eine Ueberführung materieller Theilchen, wenn auch vorherrschend, doch nicht ausschließlich vom positiven zum negativen Pole Statt. Er experimentirte im leeren Raum und leitete den Uebergang des Stromes zwischen den beiden Polen durch eine starke elektrische Entladung ein. Als zwei Eisenkugeln als Pole gedient hatten, fand sich, daß das Gewicht der positiven um 309 Milligramme abgenommen hatte, während das Gewicht der negativen nicht etwa größer, sondern um 55 Milligramme kleiner geworden war. Als zwischen zwei kupferne, als Pole dienende Kugeln eine isolirte Eisenplatte gehalten worden war, hatte die positive Kugel um 63, die negative um 360 Gramme an Gewicht zugenommen. Beide hatten sich mit Eisentheilchen bedeckt, welche von der Platte kamen.

Photometrische Vergleichung des elektrischen Kohlenlichtes. 93
Ueber die Lichtstärke des galvanischen Flammenbogens hat Casselmann Versuche angestellt. (Pogg. Annal. LXIII, 576.) Er wandte zu denselben ein Bunsen'sches Photometer an, wie wir es im ersten Bande dieses Lehrbuches kennen gelernt haben. Die Kohlenstücke, zwischen denen der Lichtbogen erzeugt wurde, waren aus derselben Masse gebildet, welche zur Herstellung der Kohlencylinder der Bunsen'schen Kette dient; jedoch waren sie noch auf verschiedene Weise präparirt worden, indem sie mit Lösungen von salpetersaurem

Strontian, Borsäure u. s. w. getränkt und nochmals stark geglüht wurden. Die so präparirten Kohlenstücke geben einen, je nach der angewandten Substanz verschieden gefärbten, sehr ruhigen Lichtbogen, der (bei einer Säule von 44 Bunsen'schen Bechern) erst erlischt, wenn die Kohlenspitzen 7 bis 8 Millimeter von einander entfernt werden, während der unruhige Lichtbogen der rohen Kohle schon bei 5^{mm} Entfernung erlischt.

In den Strom war gleichzeitig eine Tangentenbussole eingeschaltet, so daß die jeder gemessenen Lichtstärke entsprechende Stromstärke gemessen werden konnte.

Die folgende Tabelle giebt die jedem Falle entsprechende Lichtstärke der beiden hellen Punkte, sammt dem Bogen verglichen mit der Lichtstärke einer Stearinkerze, und zwar für jede Kohlenart einmal bei ganz kleiner, dann bei möglichst großer Entfernung der Kohlenspitzen. — Die Werthe der Stromstärke sind bereits auf chemische Einheit reducirt.

	Entfernung der Kohlenspitzen	Stromstärke	Lichtstärke
Rohe Kohle	0,5^{mm} 4,5	95 68	932 139
Kohle mit salpetersaurem Strontian	0,5 6,75	120 88	353 274
Kohle mit Aetzkali . . .	2,5 8	101 82	150 75
Kohle mit Zinkchlorid .	1,0 5,0	80 67	624 159
Kohle mit Borax und Schwefelsäure . . .	1,5 5,0	72 64	1171 165

Die Tabelle zeigt uns, daß mit der Entfernung der Spitzen die Lichtstärke und die Stromstärke abnimmt. Durch die meisten der Substanzen, mit welchen die Kohle behandelt wurde, ist der Lichtbogen zwar ruhiger, und eine größere Entfernung der Kohlenspitzen möglich, aber keine größere Lichtstärke erzielt worden; dies ist nur der Fall bei der Kohle, die in eine Mischung von Borax mit Schwefelsäure getaucht war.

Auch bei unveränderter Entfernung der Spitzen nimmt die Lichtstärke zu, wenn die Stromstärke wächst.

Nach den Versuchen von Fizeau und Foucault ist die photographische Wirksamkeit des durch 46 Bunsen'schen Zinkkohlenbechern erzeugten Kohlenlichtes 34mal so groß als die des Drummond'schen Kalklichtes.

Die ausgezeichneten chemischen Wirkungen des elektrischen Lichtes rühren daher, daß es sehr reich an blauen, violetten und ultravioletten Strahlen ist, was auch daraus hervorgeht, daß die eigenthümlichen Farbenerscheinungen

fluorescirender Körper bei einer Beleuchtung durch das galvanische Kohlenlicht sehr schön hervortreten.

Praktische Anwendung des elektrischen Lichtes. Die große 94
Intensität des galvanischen Kohlenlichtes mußte bald zu der Idee führen, dasselbe zur Beleuchtung zu verwenden. Da nun aber selbst die Bunsen'sche Kohlenmasse nicht fest genug ist, um auf längere Zeit eine hinlängliche gleichförmige Lichtentwickelung zu gestatten, so substituirte Foucault statt ihrer eine Kohlenmasse, welche sich in den zur Entwickelung des Leuchtgases dienenden Retorten absetzt und welche so fest ist, daß sie sich kaum mit der Säge bearbeiten läßt. Aus solcher Gaskohle hergestellte Stäbchen geben, als Polspitzen einer kräftigen galvanischen Säule angewandt, ein sehr intensives gleichförmiges Licht, während sie ihrer großen Festigkeit wegen nur eine unbedeutende Entwickelung des Lichtbogens gestatten, auf welchen es aber auch bei Beleuchtungszwecken gar nicht ankommt.

So langsam auch die Consumtion der aus Gaskohle hergestellten Spitzen sein mag, so ist doch die Abnutzung namentlich der positiven Polspitze stark genug, um alsbald eine Unterbrechung des Stromes zu bewirken, wenn die beiden Pole fest einander gegenüber gestellt wären; wo es sich also um eine praktische Anwendung des elektrischen Kohlenlichtes handelt, muß durch eine geeignete Vorrichtung dafür gesorgt sein, daß die beiden Polspitzen stets in dem gehörigen Abstande von einander erhalten werden, daß also der positive Pol in gleichem Maße gegen den negativen Pol vorgeschoben wird, in welchem er sich unter dem Einflusse des Stromes verkürzt.

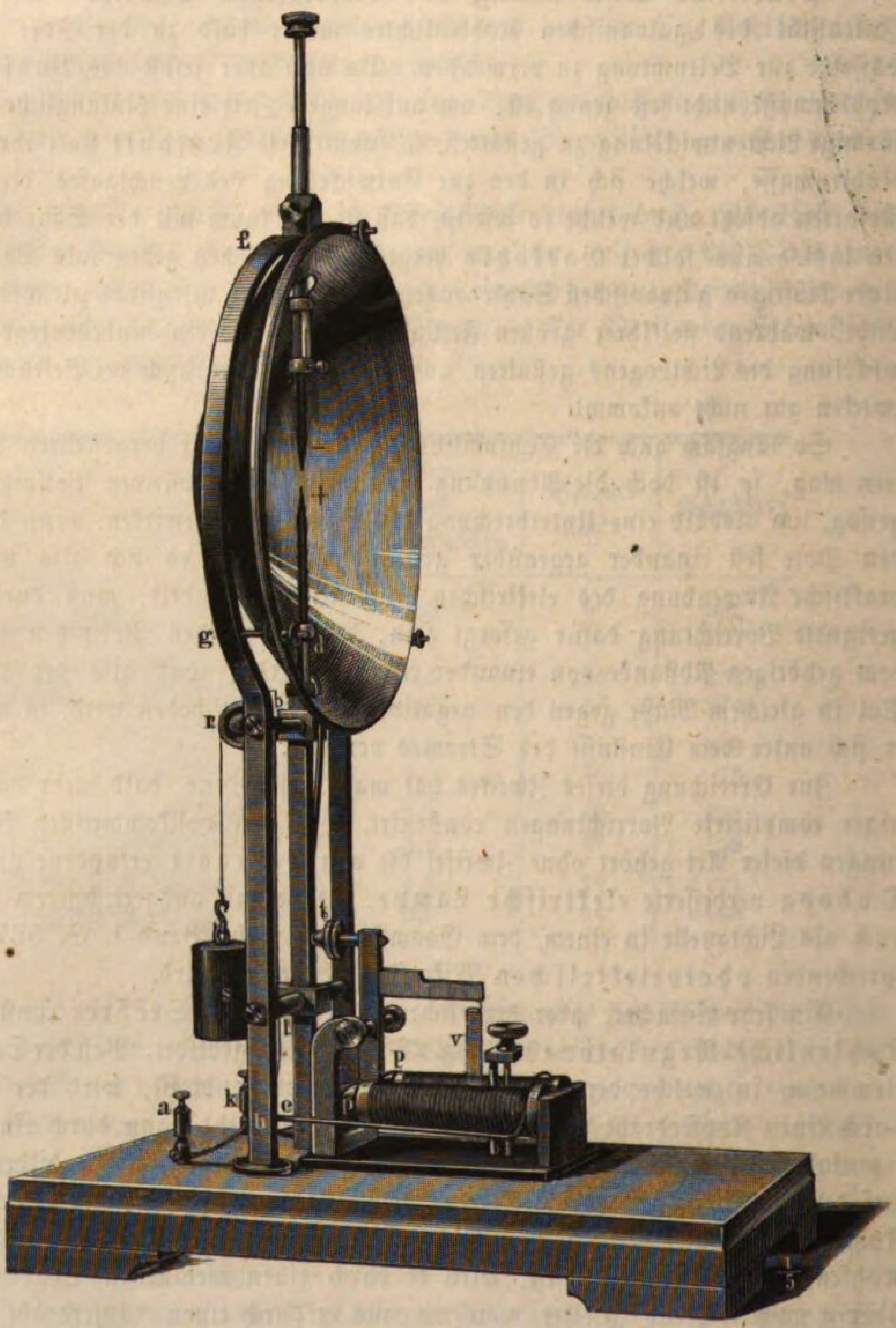
Zur Erreichung dieses Zweckes hat man verschiedene, bald mehr bald weniger complicirte Vorrichtungen construirt. Zu den vollkommensten Vorrichtungen dieser Art gehört ohne Zweifel die von Foucault erfundene und von Dubosq verbesserte elektrische Lampe, welche mit ausgezeichnetem Erfolg auch als Lichtquelle in einem, dem Gasmikroskop (siehe Band I, S. 567) entsprechenden photoelektrischen Mikroskop verwendet wird.

Ein sehr einfacher, aber doch sicher wirkender, von Stöhrer construirter Kohlenlicht-Regulator ist in Fig. 238 (a. f. S.) abgebildet. Von der Schraubklemme *a*, in welche der positive Poldraht eingeschraubt ist, wird der Strom durch einen Kupferdraht nach *b* hinaufgeleitet und geht dann durch einen horizontalen Messingstab, dessen Mitte durch eine rechteckige Hülse gebildet wird, auf den in dieser Hülse verschiebbaren Messingstab *c d* über, welcher die positive Kohlenspitze trägt. — Nachdem nun der Strom von der positiven zur negativen Kohlenspitze übergegangen ist, wird er durch einen metallenen Bogen von *f* über *g* nach *h* herab geleitet, von wo aus er durch einen Kupferdraht in die Umwindungen eines Elektromagneten geht, aus denen er endlich zur Schraubklemme *k* gelangt, in welche der negative Poldraht der Säule eingeschraubt ist.

Die beiden Kohlenspitzen befinden sich in dem Brennpunkte eines neusilbernen, parabolisch gekrümmten Hohlspiegels, welcher mittelst dreier Schrauben von einem metallenen Ringe getragen wird. Dieser nach unten offene Ring

läuft in zwei verticale Metallstäbe aus, mittelst deren er auf einem starken Brette befestigt ist, Fig. 238 und Fig. 239.

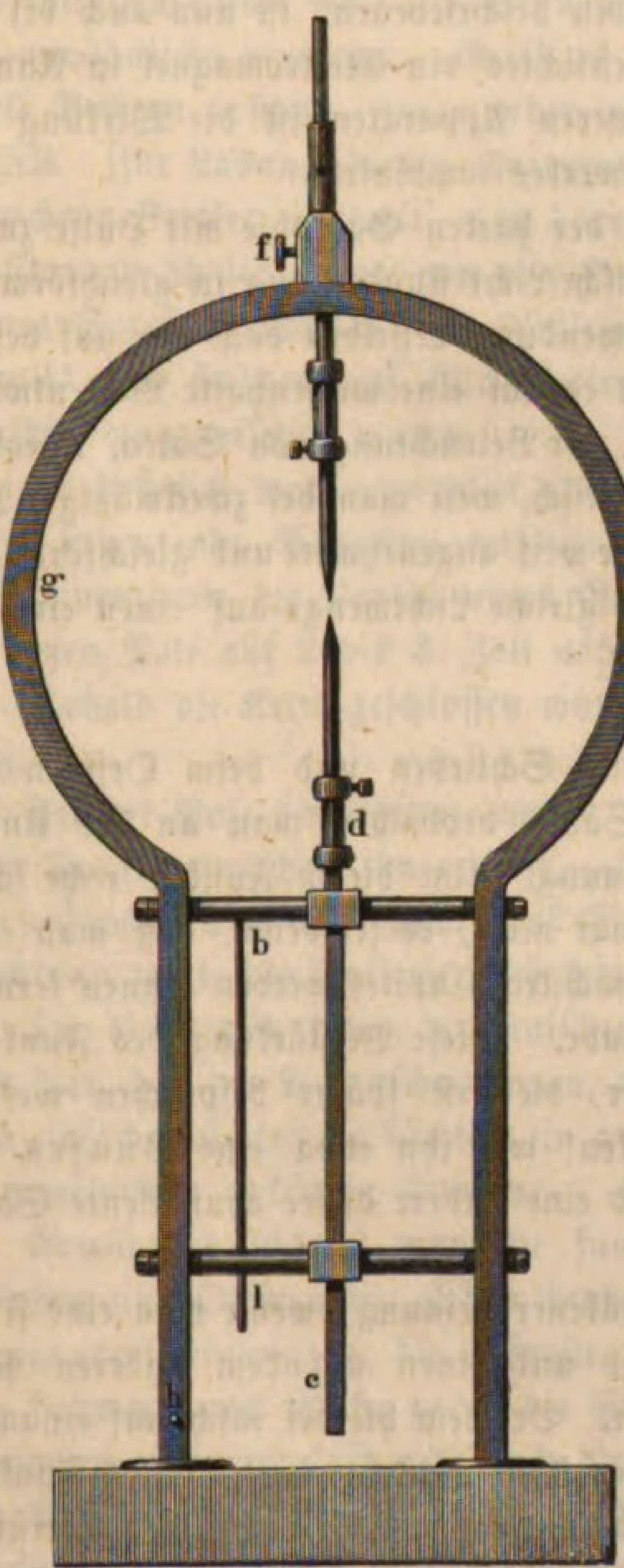
Fig. 238.



Zwischen diesen beiden verticalen Metallstäben sind nun zwei Messingstäbchen, nämlich einer bei *b* und einer bei *l*, in horizontaler Richtung so befestigt, daß sie durch Holzscheibchen von den verticalen Stäben getrennt sind,

also keine metallische Verbindung zwischen diesen horizontalen Stäbchen und den verticalen Trägern des Ringes besteht, wie man aus Fig. 239 deutlicher ersieht, welche den entsprechenden Theil geometrisch und mit Hinweglassung des Hohlspiegels darstellt.

Fig. 239.



1/5

In der Mitte eines jeden der beiden horizontalen Stäbchen befindet sich eine rechteckige Hülse, in welcher der rechteckige Stab *cd* auf und ab geschoben werden kann, welcher oben das untere Kohlenstäbchen trägt.

Das obere Kohlenstäbchen ist an einem Messingstabe befestigt, der in einer auf dem Gipfel des vorher erwähnten metallenen Ringes befestigten Hülse verschiebbar, mittelst einer Stellschraube in der gehörigen Stellung festgestellt werden kann.

Am unteren Ende des vierseitigen Stabes *cd*, welcher das untere Stäbchen trägt, ist ein horizontales Messingstäbchen befestigt, von welchem eine Schnur in die Höhe geht, welche über eine Rolle *r* geschlungen das Gewicht *s* trägt; durch dieses Gewicht wird nun der Stab *cd* in die Höhe gezogen, also die untere Kohlenspitze der oberen festgeschraubten genähert.

Hat man nun mit der Hand durch Verschiebung des Stabes *cd* die beiden Kohlenspitzen in Berührung gebracht und dann sie wieder so weit entfernt, daß sich das elektrische Licht möglichst brillant entwickelt, so wird der Strom auch den erwähnten Elektromagneten umkreisen, welcher nun den Anker *pp*, Fig. 238, anzieht und dadurch den Knopf *t* gegen die Stange *cd* anpreßt. An der gegen die Stange *cd* gewendeten Seite ist der Knopf *t* mit einer Korkplatte versehen, so daß durch das Anpressen des Knopfes *t* gegen die Stange *cd* eine Hebung derselben durch das Gewicht *s* verhindert wird. Sobald nun aber die positive Polspitze zu weit ausgehöhlt wird, nimmt die Stromstärke ab, die Spiralfeder *v* zieht den Anker *p* und den Knopf *t* wieder etwas zurück, was eine kleine Hebung der positiven Polspitze zur Folge hat,

die aber sogleich wieder aufhört, sobald durch die Annäherung der Spitzen der Strom wieder stark genug geworden ist, um ein kräftigeres Anpressen von *t* gegen *c d* zu bewirken.

In ähnlicher Weise, wie bei dem eben beschriebenen, ist nun auch bei anderen Regulatoren des elektrischen Kohlenlichtes ein Elektromagnet in Anwendung gebracht und bei den vollkommeneren Apparaten ist die Wirkung des Elektromagneten noch mit der eines Uhrwerkes combinirt.

Obgleich man nun bei Anwendung der harten Gaskohle mit Hülfe zweckmäßiger Regulirungsapparate das elektrische Licht stundenlang in gleichförmiger Helligkeit erhalten kann, so wird die Anwendung desselben doch nur auf besondere Fälle beschränkt bleiben, bei welchen es auf eine massenhafte Lichtentwickelung ankommt. Zur Straßenbeleuchtung, zur Beleuchtung von Sälen, Theatern u. s. w. ist das elektrische Licht nicht praktisch, weil man bei zweckmäßiger Vertheilung vieler schwächerer Lichtquellen eine weit angenehmere und gleichförmigere Erleuchtung erhält, als wenn man die gleiche Lichtmenge auf einen einzigen Punkt concentrirt.

95 **Der galvanische Funke.** Beim Schließen und beim Oeffnen des Schließungsbogens einer galvanischen Säule beobachtet man an der Unterbrechungsstelle eine funkenartige Erscheinung. Um diesen Funken recht schön zu sehen, genügt ein einziges Plattenpaar nicht, es sei denn, daß man eine Magnetisirungsspirale, wie wir sie im nächsten Capitel werden kennen lernen, in den Schließungsbogen eingeschaltet habe. Diese Verstärkung des Funkens rührt von einer Inductionswirkung her, die erst später besprochen werden kann. Betrachten wir zunächst den Funken, wie ihn etwa eine Bunsen'sche Säule von 6 bis 10 Bechern oder irgend eine andere dieser äquivalente Säule giebt.

Sehr schön beobachtet man die Funkenerscheinung, wenn man eine Feile an dem einen Pole der Säule befestigt und einen mit dem anderen Pole verbundenen Eisendraht darüber hinführt. Bei dem hierbei rasch auf einander folgenden Oeffnen und Wiederschließen der Kette entsteht ein lebhaftes Funkensprühen, welches offenbar von einer Verbrennung von Eisentheilchen herrührt, die glühend auseinanderfahren.

Anders erscheint der galvanische Funken, wenn das Schließen und Oeffnen der Kette durch Eintauchen und Herausziehen des einen Poldrahtes in und aus Quecksilber geschieht, welches mit dem anderen Pole in leitender Verbindung steht. Hier ist kein Umhersprühen zu beobachten. Man sieht, wenn man den einen Poldraht in das Quecksilber eintaucht oder herausnimmt, einen ganz abgerundeten, lebhaft weiß glänzenden Funken, der von einem klatschartigen Geräusch begleitet ist. Auch in dieser Form ist höchst wahrscheinlich die Lichterscheinung von einer secundären Verbrennung, und zwar hier von einer Verbrennung des Quecksilbers begleitet.

Ein Ueberspringen von Funken in distans, wie wir es bei der Reibungselektricität kennen gelernt haben, findet bei den gewöhnlichen galvanischen

Säulen nicht Statt. Jacobi hat sich durch genaue Messungen überzeugt, daß die Pole einer Säule von 12 Grove'schen Plattenpaaren bis auf 0,00005 Zoll genähert werden konnten, ohne daß ein Funke übersprang. Ein solches Ueberspringen erhält man erst, wenn man die Zahl der Plattenpaare weit über das gewöhnliche vermehrt. Gassiot hat eine Säule construirt, welche aus 3520 Bechern bestand, deren jeder einen Zinkstab und einen Kupfercylinder enthielt. Zur Ladung diente Regenwasser. Die 3520 Glasbecher waren auf 44 eichene Bretter vertheilt, von denen immer 11 ein Gestell, einem Bücherrepositorium ähnlich, und von vier starken Ständern getragen, bildeten. Besondere Sorgfalt war auf die Isolirung verwendet worden; die Becher waren gefirnißt und standen auf Glasplatten, die ebenso wie die Bretter mit einem Firnißüberzug versehen waren.

Es ließ sich wohl erwarten, daß diese Batterie im ungeschlossenen Zustande bedeutende Spannungserscheinungen hervorbringen mußte; und in der That divergirten die Pendel eines Goldblattelektroskops schon, wenn man es dem einen Pole auf 2 bis 3 Zoll näherte.

Sobald die Kette geschlossen wurde, verschwanden alle Zeichen von Spannung.

Als die Pole der Batterie auf 0,02 Zoll genähert wurden, schlugen unausgesetzt Funken zwischen ihnen über. In einem Falle dauerte dies Phänomen ununterbrochen Tag und Nacht fünf Wochen lang. Mehrere Monate nach ihrer Errichtung zeigte die Batterie noch keine Abnahme ihrer Kraft.

Da die gewöhnlichen galvanischen Ketten gar keine Schlagweite haben, so ist klar, daß die Lichterscheinungen, welche man beim Schließen und Oeffnen selbst einfacher Ketten beobachtet, ein ganz anderes Phänomen sein müssen, als der gewöhnliche elektrische Funken.

Gewöhnlich schreibt man die funkenartige Erscheinung, welche man beim Schließen und Oeffnen der Säule beobachtet, einer secundären Glüh- und Verbrennungserscheinung zu; die äußersten feinen Spitzen, welche zuerst in Berührung kommen, und welche zuerst die Stromleitung herstellen, werden glühend, verbrennen und veranlassen dadurch die Lichterscheinung.

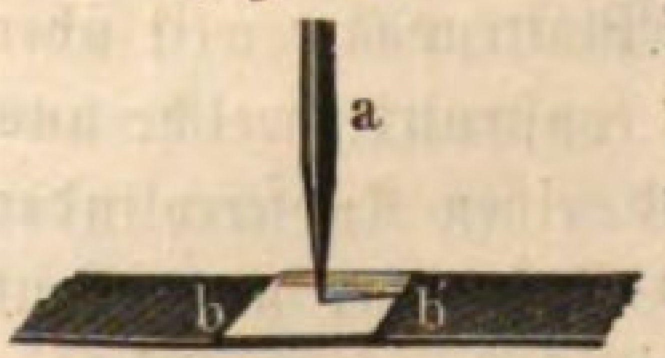
Daß bei kräftigen galvanischen Funken solche Glüh- und Verbrennungserscheinungen überhaupt vorkommen, unterliegt wohl keinem Zweifel, allein hier ist das Phänomen schon ein zusammengesetztes. Man beobachtet jedoch bei der Unterbrechung der Kette Funken unter Umständen, wo ein Glühen oder Verbrennen höchst unwahrscheinlich ist.

Neeff hat nun wirklich den Beweis geliefert, daß diese Lichterscheinung, wenn sie ganz einfach ohne secundäre Stromwirkung auftritt, weder ein elektrischer Funken im gewöhnlichen Sinne des Wortes, d. h. nicht ein von Pol zu Pol überspringender Funken ist, noch daß sie einer Metallverbrennung zugeschrieben werden kann.

An einem ursprünglich von Neeff herrührenden Apparate, den wir vollständig erst im Capitel von den Inductionserscheinungen besprechen werden, geht der Strom eines einfachen Plattenpaares, etwa eines Grove'schen Bechers

nachdem er eine Drahtspirale durchlaufen hat, von der Platinspitze *a*, Fig. 240, auf ein Platinplättchen *bb'* über, welches auf einer Feder von Kupferblech aufgelöthet ist. Durch ein später erst zu erläuterndes Mittel wird dieser Kupferstreifen in Oscillationen versetzt, so daß die Berührung zwischen der Platinspitze *a* und der Platinplatte *bb'* in rascher Aufeinanderfolge unterbrochen und wiederhergestellt wird. Die Oscillationen sind so rasch, daß man ein summendes Geräusch hört und an der Unterbrechungsstelle des Stromes eine Lichterscheinung von continuirlichem Ansehen wahrnimmt; man sieht nämlich an der Berührungsstelle von Spitze und Plättchen ein kleines Lichtpünktchen.

Fig. 240.



Neef kam auf den glücklichen Gedanken, diese Erscheinung mit dem Mikroskop zu untersuchen und fand auf diese Weise, daß das Lichtphänomen immer nur am negativen Pole auftritt.

Am besten beobachtet man die Erscheinung durch ein Mikroskop, welches bei 25- bis 50facher Vergrößerung erlaubt, das Objectiv 1 bis 1½ Zoll weit vom Lichtpunkte anzubringen.

Geht der positive Strom von der Platte zur Spitze über, so erscheint die Spitze in ein violettes Licht eingehüllt, während die Platte ganz dunkel bleibt.

An dem unteren Ende der Spitze erscheinen in dem stetigen violetten Lichte einzelne außerordentlich feine Pünktchen von blendend weißem Lichte, welche eine wimmelnde Bewegung zeigen; allein auch bis gegen das obere Ende der violetten Lichthülle hin sieht man röthliches Licht von größerer Intensität aufblitzen, ohne daß irgend ein Ueberspringen nach dem anderen Pole zu bemerken wäre.

Dies letztere Aufblitzen verschwindet mehr und mehr, wenn der Strom schwächer wird.

Geht der Strom in entgegengesetzter Richtung, ist also die Spitze positiv, so erscheint sie ganz dunkel, und das violette Licht ist auf der Platte um den Berührungspunkt herum ausgebreitet.

Hier ist also durchaus kein eigentlicher Funken zu beobachten, allein auch einem Verbrennen des Platins kann dieser gleichförmige, ruhige, violette Lichtschimmer nicht zugeschrieben werden.

Wir werden später eine ähnliche Erscheinung in größerem Maßstabe kennen lernen.

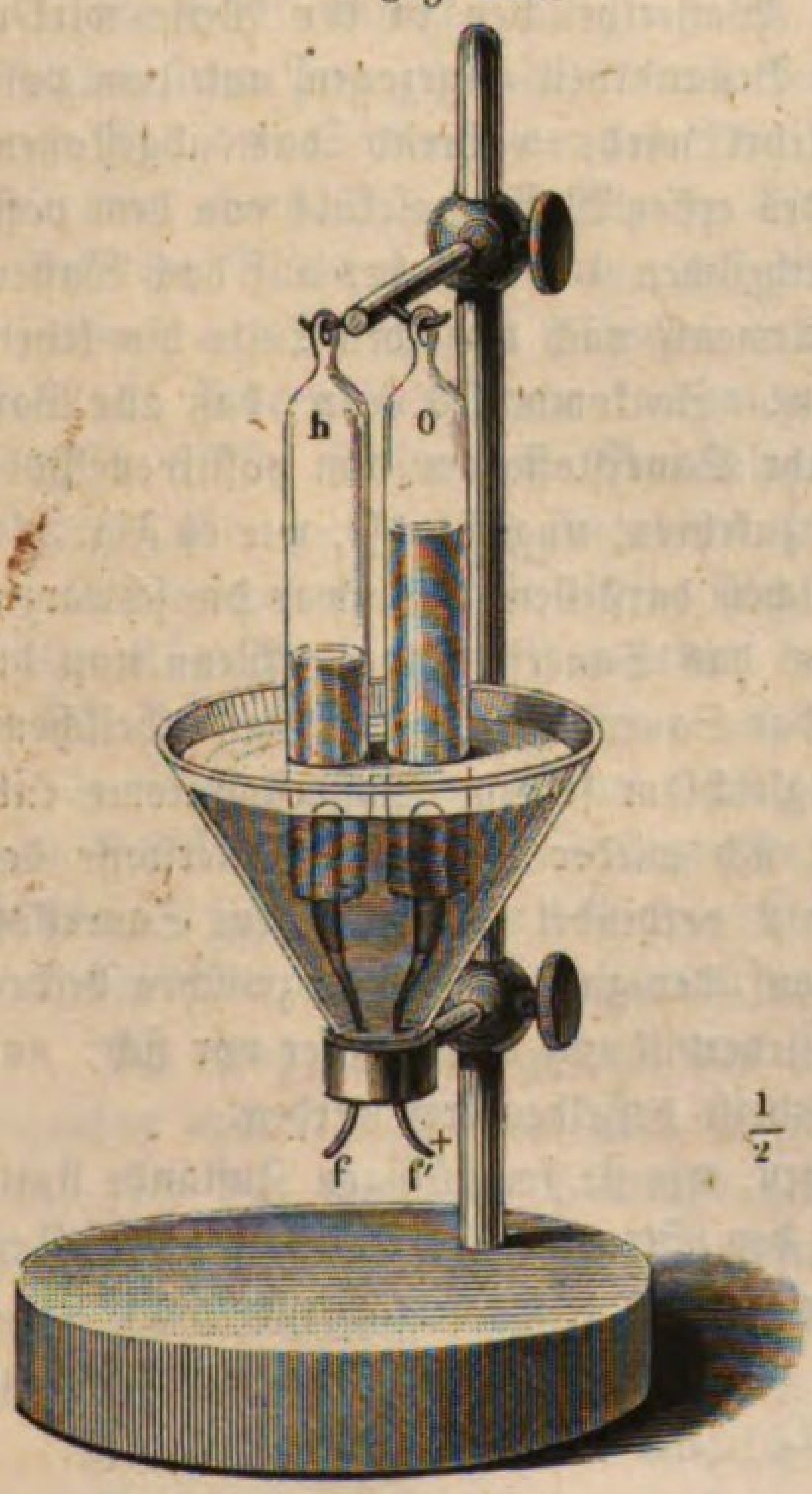
96 **Galvanische Wasserzersetzung.** Wir haben bereits in §. 67 gesehen, daß die Leiter der Elektricität in zwei große Classen zerfallen, in Leiter der ersten Ordnung, welche dem Gesetze der Spannungsreihe gehorchen, und in Leiter zweiter Ordnung, für welche dies nicht der Fall ist.

Diesen Unterschied hatte bereits Volta richtig erkannt; außer diesem zeigen sie aber noch eine andere wesentliche Verschiedenheit in Beziehung auf die Stromleitung. Zu den Leitern der ersten Classe gehören vorzugsweise die Metalle; sie leiten den elektrischen Strom, ohne, eine entsprechenden Wärmeentwickelung abgerechnet, eine Veränderung in ihrer Substanz zu erfahren.

Die Leiter der zweiten Classe hingegen, in welche nur chemisch zusammengesetzte Flüssigkeiten gehören, können den elektrischen Strom nur in Folge einer chemischen Zersetzung leiten, oder mit anderen Worten, die chemische Zersetzung vermittelt die Stromleitung in den zu den Leitern zweiter Classe gehörigen Flüssigkeiten.

Die erste galvanische Zersetzung, welche beobachtet wurde, war die des Wassers. Im Jahre 1800 bemerkten zwei englische Physiker, Carlisle und Nicholson, während sie mit einer Volta'schen Säule experimentirten, den eigenthümlichen Geruch von Wasserstoffgas, und Nicholson kam, dadurch veranlaßt, auf den glücklichen Gedanken, den Strom durch eine Röhre mit Wasser gehen zu lassen, indem er die beiden Poldrähte in dasselbe eintauchte und in einer kleinen Entfernung von einander hielt. Bald stieg das Wasserstoffgas in kleinen Bläschen am negativen Pole auf, während der positive, aus Zink bestehende Poldraht sich oxydirte. Wird für den positiven Poldraht Platin oder Silber genommen, so oxydirt er sich nicht, sondern das Sauerstoffgas steigt ebenfalls in Bläschen in die Höhe. — So war denn endlich das Wasser direct in seine Elemente zerlegt. Cavendish hatte zwar schon gezeigt, daß Sauerstoff und Wasserstoff sich zu Wasser verbinden, aller Anstrengung ungeachtet war aber die directe Zersetzung des Wassers noch nicht gelungen. Ein passender Apparat zur Wasserzersetzung ist Fig. 241 dargestellt. Er besteht aus einem Glase, durch dessen isolirenden Boden zwei Kupferdrähte hindurchgehen, welche sich jedoch nicht berühren dürfen. An diese Drähte sind Platinplatten angelöthet, die Löthstelle aber und der Kupferdraht, soweit er sich im Gefäß befindet, ist sorgfältig mit Siegellacklösung überzogen. Zwei Glasglöckchen *o* und *h* sind mit gesäuertem Wasser gefüllt und hängen in das Gefäß herab, so daß sich über jeder der beiden Polplatten ein solches Glöckchen befindet. Sobald man nun die Drähte *f* und *f'* mit den Polen der Säule in Verbindung bringt, entwickeln sich Gasblasen in reichlichem Maße. Reines Sauerstoffgas steigt immer in dem einen Glöckchen über dem positiven Pole auf, das Wasserstoffgas im anderen. Das Volumen des an der negativen Polplatte aufsteigenden Wasserstoffga-

Fig. 241.



ses ist doppelt so groß, als das Volumen des am positiven Pol frei werdenden Sauerstoffgases.

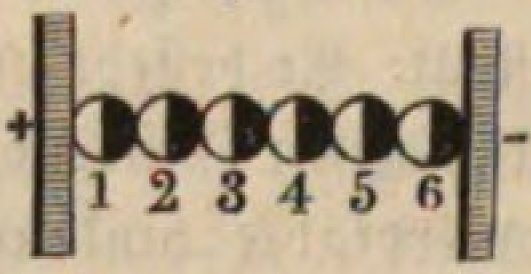
Die Gasentwickelung ist um so lebhafter, je näher die Polplatten einander sind und je größer die Oberfläche des Metalls ist, welche mit dem Wasser in Berührung steht. Man wendet deshalb anstatt der ursprünglich gebräuchlichen Poldrähte, Platinplättchen an.

Das destillirte und vollkommen reine Wasser wird auf diese Weise doch nur langsam zersetzt; sobald man aber nur einige Tropfen Schwefelsäure zugießt, wodurch sein Leitungsvermögen bedeutend erhöht wird, beginnt eine sehr lebhafte Gasbildung.

Die Voltameter zum Auffangen der gemischten Gase haben wir bereits oben Seite 187 kennen gelernt.

Grotthuß hat von dieser merkwürdigen Erscheinung folgende Erklärung gegeben, welche jetzt von fast allen Physikern als die richtige angenommen wird. Wenn Wasserstoffgas mit Sauerstoff zu Wasser verbunden sind, so werden bei dieser innigen Berührung der kleinsten Theilchen die Sauerstoffatome negativ, die Wasserstoffatome positiv elektrisch; wegen der gleichförmigen Vertheilung der Theilchen beider Substanzen aber zeigt natürlich die Verbindung keine freie Elektricität. Wenn sich nun Wasser zwischen den beiden Polen einer galvanischen Kette befindet, so wird der positive Pol auf die zunächstliegenden Wassertheilchen in der Weise wirken, daß der negative Bestandtheil angezogen und dem positiven Pole zugekehrt wird, während das abgestoßene Wasserstoffatom des ersten Wassermoleküls von dem positiven Pole abgewendet ist. Das Wassertheilchen 1 wirkt aber auf das Wassertheilchen 2 in der Weise, daß es seine Elemente nach derselben Seite hin kehrt; in derselben Weise wirkt 2 auf 3 u. s. w. So kommt es denn, daß alle Wassermoleküle zwischen den beiden Polen ihr Sauerstoffatom dem positiven Pole, ihr Wasserstoffatom dem negativen Pole zukehren, ungefähr so, wie es Fig. 242 versinnlicht, wo die Kreischen Wassertheilchen darstellen, und zwar die schwarzen Hälften das Wasserstoffatom, die weißen das Sauerstoffatom. Wenn nun die Anziehung, welche der positive Pol auf das Sauerstoffatom des Wassertheilchens 1 ausübt, groß genug ist, so wird es gleichsam seinem Wasserstoffatome entrissen; dieses Wasserstoffatom verbindet sich wieder mit dem Sauerstoffe des Wassertheilchens 2; der Wasserstoff von 2 verbindet sich mit dem Sauerstoff von 3 u. s. w. Auf diese Weise geht auf der ganzen Strecke zwischen beiden Polen eine beständige Zersetzung und Wiederbildung von Wasser vor sich, nur an den Polen selbst können die Bestandtheile desselben frei werden.

Fig. 242.



Die Beweglichkeit der Wassertheilchen, wie sie im flüssigen Zustande stattfindet, ist wesentlich, wenn das Wasser den Strom leiten und durch denselben zersetzt werden soll. Eis wird nicht zerlegt und leitet den Strom nicht.

Gerade so wie zwischen den Polen findet auch in allen Zellen der galvanischen Kette eine Wasserzersetzung Statt.

Zersetzung der Alkalien durch den galvanischen Strom. Eine 97
neue Epoche der Wissenschaft beginnt mit der im Jahre 1807 von Davy mit Hülfe der Säule gemachten Entdeckung der Zerlegbarkeit der Alkalien. Davy fand nämlich, daß die Alkalien und Erden, welche man für einfache Körper gehalten hatte, unter der Einwirkung des galvanischen Stromes in Sauerstoff und ein bis dahin unbekanntes Metall zerfallen. Das Metall des Kalis nannte er Kalium, das des Natrons wurde Natrium genannt. Das Aetzkali ist also Kaliumoxyd, das Aetznatron ist Natriumoxyd.

Kaum waren die ersten unvollständigen Nachrichten über diese Entdeckung verbreitet worden, als man an mehreren Orten den Versuch mit Erfolg wiederholte. Das Wichtigste über diese Versuche findet man im 28. Bande von Gilbert's Annalen. Ermann und Simon in Berlin, Jacquin in Wien publicirten alsbald Näheres über die Art und Weise, wie ihnen die galvanische Zerlegung des Kalis und des Natrons geglückt war, und den Bemühungen von Gay-Lussac und Thénard gelang auch alsbald die Zerlegung dieser Körper ohne Anwendung des galvanischen Stromes auf rein chemischem Wege.

Folgendes ist das Wesentliche des Versuchs: wenn man ein Stückchen Aetzkali, eben so feucht, wie es durch Anhauchen wird, zwischen die Pole einer kräftigen Säule bringt, indem man es etwa auf eine Platinplatte legt, die mit dem positiven Pole der Säule verbunden ist und es oben mit einem, den negativen Pol der Säule bildenden Platindrahte berührt, so findet nach kurzer Zeit eine oberflächliche Schmelzung Statt; an der positiven Platinplatte entwickeln sich Bläschen von Sauerstoffgas, an dem negativen Platindraht aber erscheinen außer einzelnen Bläschen von Wasserstoffgas noch kleine Metallkügelchen von silberweißer Farbe und nicht zu verkennendem Metallglanz, die anfänglich flüssig scheinen wie Quecksilber, und sich oft zu größeren vereinigen. Alsbald aber werden die Kügelchen fest und verlieren durch die Berührung mit der umgebenden Luft ihren Metallglanz. Zieht man, nachdem mehrere solcher Kügelchen sich gebildet haben, den negativen Poldraht von dem Aetzkali zurück, so erstarrt alsbald das noch an dem Draht anhängende Aetzkali und in der erstarrten Masse sind dann einzelne Kaliumkügelchen zerstreut. Taucht man den Draht mit den anhängenden Kügelchen in Wasser, so detoniren sie, indem sie sich auf Kosten des Sauerstoffs des Wassers oxydiren, wobei Wasserstoffgas frei wird, welches sogleich wieder verbrennt.

Mit Aetznatron gelingt der Versuch leichter, d. h. die Natriumkügelchen oxydiren sich nicht ganz so leicht, wie die Kaliumkügelchen; wenn man aber den negativen Poldraht mit den anhaftenden Natriumkügelchen in Wasser taucht, so erfolgt keine Detonation, sondern nur eine lebhafte Entwickelung von Wasserstoffbläschen, indem das Natrium sich wieder zu Natron oxydirt.

Wenn sich etwas größere Kügelchen von Kalium oder Natrium am negativen Poldraht angesetzt haben, so kann man sie vor fernerer Oxydation dadurch

schützen, daß man den Draht rasch in rectificirtes Steinöl (eine sauerstofffreie Flüssigkeit) eintaucht und die Kügelchen vom Draht ablöst.

In der Regel verbreiten sich zahlreiche, äußerst feine Metallkügelchen, von dem negativen Poldrahte sich ablösend, in der geschmolzenen Masse des Alkalis, welches dadurch etwas geschwärzt wird. Wirft man die erstarrte Masse dann in Wasser, so erfolgt eine lebhafte Wasserzersetzung.

Wenn die Masse des Alkalis vollständiger geschmolzen und dadurch der Strom kräftiger geworden ist, so erfolgt die Reoxydation des reducirten Alkalimetalls schon in der Masse meist unter Feuererscheinung. Wenn sich etwas größere Kügelchen des Alkalimetalls gebildet haben, so ist dann ihre Verbrennung öfters von einer Detonation begleitet.

Davy wandte zu seinen Versuchen einen Trogapparat von 250 Plattenpaaren an. Ermann und Simon gebrauchten eine Säule von 60 Plattenpaaren, deren jedes 8 Zoll Durchmesser hatte. Eine Säule von 10 bis 12 Bunsen'schen Bechern genügt zu diesem Versuche vollkommen.

Seebeck hat ein Mittel angegeben, um das durch die Säule ausgeschiedene Kalium sicherer zu sammeln. In ein Stück kaustischen Kalis, welches zersetzt werden soll, wird eine Höhlung gemacht und Quecksilber in dieselbe gegossen. Das Kali wird dann auf ein mit dem positiven Pole der Säule in Verbindung stehendes Platinstück gelegt, das negative Drahtende aber in das Quecksilber getaucht. Alsbald geht die Zersetzung vor sich; Sauerstoff wird am Platin frei, das Kalium aber verbindet sich mit dem Quecksilber zu einem ziemlich beständigen Amalgam. Am leichtesten erhält man das Amalgam der Alkalimetalle auf folgende, Fig. 243 dargestellte Weise. Auf den Boden eines Glasgefäßes wird Quecksilber gegossen und in dasselbe ein Platindraht eingetaucht, welcher bis auf den unteren horizontal umgebogenen Theil mit Siegellack überzogen ist. Dieser Draht wird mit dem negativen Pol einer Säule (von etwa 6 bis 10 Zinkkohlenbechern) in Verbindung gebracht. Auf das Quecksilber gießt man nun die concentrirte alkalische Lösung und taucht in dieselbe eine mit dem positiven Pol einer Säule verbundene Platinplatte. Die Zersetzung geht sogleich vor sich und das Kalium wird von dem Quecksilber unter beträchtlicher Temperaturerhöhung aufgenommen. Dies Amalgam erstarrt beim Erkalten.

Fig. 243.



Nachdem man die Alkalien als Metalloxyde erkannt hatte, war kein Zweifel mehr, daß auch die alkalischen Erden, Kalkerde, Baryterde, Bittererde (Magnesia) u. s. w. oxydirte Metalle seien.

Davy erhielt im Jahre 1808 das metallische Radical der Baryterde, das Barium, indem er aus Baryterde oder kohlensaurem Baryt und Wasser einen Teig bildete, und diesen auf ein mit dem positiven Pole der Säule verbundenes Platinblech legte, sodann in eine Vertiefung im Teig etwas Quecksilber goß und in dieses den negativen Pol der Säule eintauchte. — Das

so erhaltene Amalgam wurde durch Erhitzen in einer gebogenen und mit Steinöldampf gefüllten Röhre von Quecksilber befreit.

Galvanische Zersetzung geschmolzener Chlormetalle. Wenn 98
man die Chlormetalle im geschmolzenen Zustande dem Strom aussetzt, so werden sie gleichfalls zersetzt und zwar in der Art, daß das Chlor am positiven, das Metall am negativen Pole ausgeschieden wird. Faraday stellte den Versuch in der Weise an, daß er das Chlormetall, z. B. Chlorsilber oder Chlorblei, auf einer Glasplatte oder in einer Uförmig gebogenen Glasröhre durch eine Weingeistlampe schmolz und dann die Poldrähte in das geschmolzene Salz eintauchte. Wenn das am positiven Pol austretende Chlorgas die Substanz dieses Poles angreift, so kann es nicht als Gas entweichen, sondern es verbindet sich mit dem Metall. Taucht man z. B. silberne Poldrähte in geschmolzenes Chlorsilber, so wird der positive Pol in dem Maße aufgelöst, in welchem sich metallisches Silber an dem anderen Poldrahte ansetzt.

Bunsen hat in neuerer Zeit auch die leicht oxydirbaren Metalle der Alkalien und Erden aus ihren geschmolzenen Chlorverbindungen galvanisch abgeschieden. — Er hat gezeigt, daß man in den meisten Fällen nur durch große Stromdichtigkeit am negativen Pole zum Ziele gelangt; um aber den Strom am negativen Pole möglichst zusammenzudrängen, ist es nothwendig, die Oberfläche des negativen Poles möglichst zu reduciren, was Bunsen dadurch erreichte, daß er als negativen Pol nicht Platinplatten, sondern Platin- oder Eisendrähte anwandte.

Der Einfluß der Stromdichtigkeit am negativen Pole ist leicht zu übersehen. Wenn ein kräftiger Strom am negativen Pole auf einen kleinen Querschnitt zusammengedrängt ist, so ist auch die der Stromstärke entsprechende Metallreduction auf einen kleinen Raum zusammengedrängt, so daß die dicht nebeneinander ausgeschiedenen Metallkügelchen sich eher zu etwas größeren Stücken vereinigen können. Wenn dagegen bei gleicher Stromstärke die negative Polplatte eine große Oberfläche hat, so wird die gleiche reducirte Metallmenge auf einen größeren Raum ausgebreitet, sie kann also überall nur in feinst-vertheiltem Zustande auftreten, wodurch eine Reoxydation begünstigt und die Vereinigung zu etwas größeren zusammenhängenden Stücken erschwert wird.

Unter Bunsen's Leitung hat Matthiessen mehrere derartige Reductionen ausgeführt. Die Darstellung des Calciums gelang am besten auf folgende Weise: Ein Gemisch von 2 Aequivalent Chlorcalcium mit 1 Aequivalent Chlorstrontium und Chlorammonium wird in einem kleinen Porzellantiegel geschmolzen und in die geschmolzene Masse ein Bunsen'sches Kohlenstück als positiver Pol eingetaucht, während als negativer Pol der ungefähr aus 6 Zinkkohlenbechern bestehenden Säule ein an einem dickeren Drahte befestigter und nur 2 Linien tief in die Flüssigkeit eingetauchter Klaviersaitendraht dient. Die Flamme unter dem Tiegel wird so regulirt, daß die Masse um den negativen Poldraht herum oben etwas erstarrt und eine kleine schützende Kruste

bildet. Ungefähr alle drei Minuten wird der Draht sammt der anhängenden Kruste herausgenommen, um unter Steinöl die daran sitzenden Calciumkörnchen abzusondern.

Das so dargestellte Calcium hat die Farbe des Glockenmetalls, zeigt frisch angefeilt, ausgezeichneten Glanz, ist sehr ductil, aber in ausgehämmerten Stücken spröde. In vollkommen trockener Luft erhält sich das Calcium oft Tage lang ohne anzulaufen, in feuchter Luft überzieht es sich aber bald mit einer grauen Schicht und verwandelt sich allmälig in Kalkhydrat.

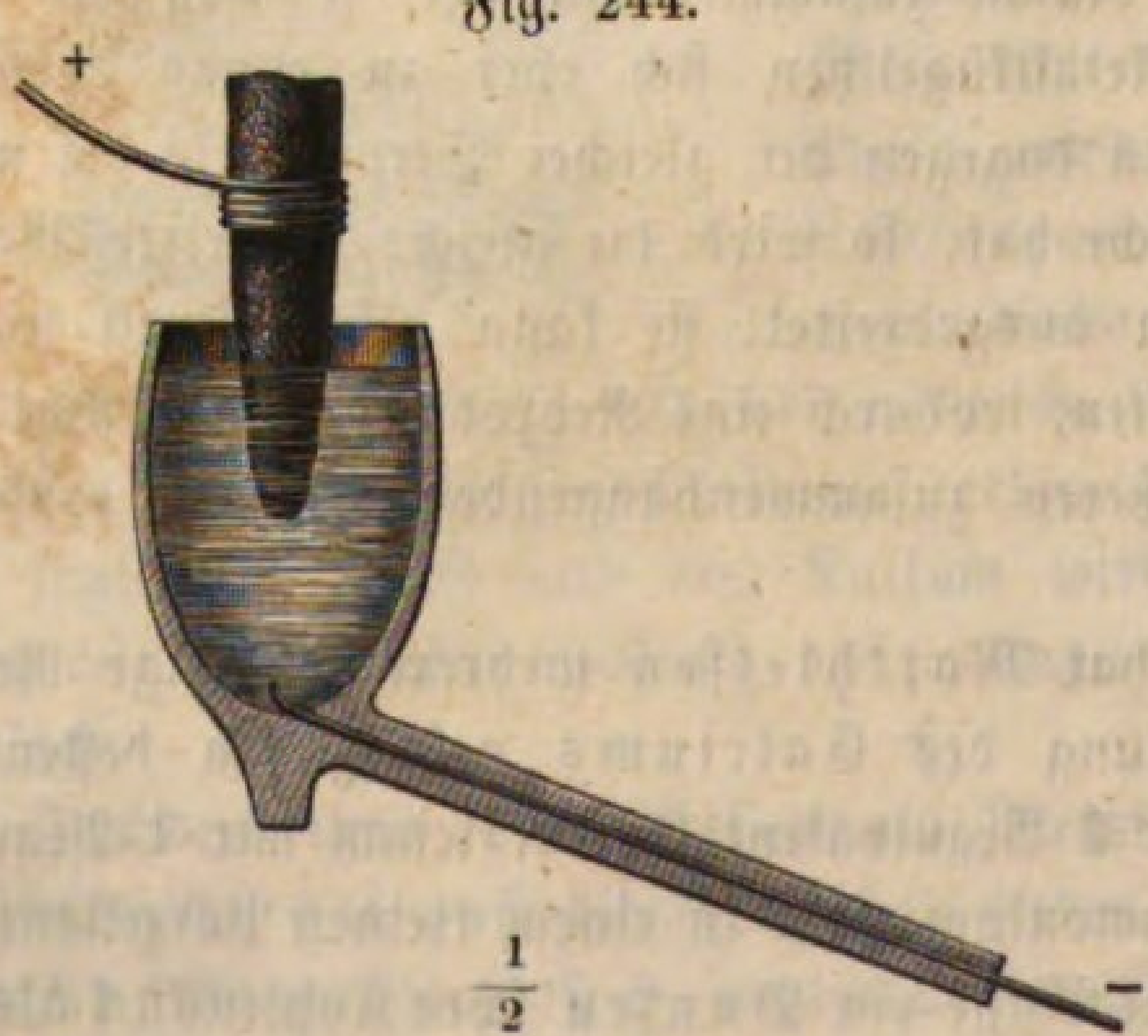
Auf dieselbe Weise läßt sich auch Natrium aus geschmolzenem Kochsalz darstellen und Lithium aus einer geschmolzenen Masse von Chlorlithium reduciren; die am negativen Eisendraht sich bildende Lithiumkugel kann man, da sie durch eine Schicht geschmolzenen Chlorlithiums vor Oxydation geschützt bleibt, mittelst eines kleinen löffelförmigen Spatels sammt dem Eisendraht herausnehmen und unter Steinöl vom Draht ablösen.

Das Lithium ist silberweiß, auf der frischen Schnittfläche läuft es aber sofort gelblich an; sein specifisches Gewicht ist als Mittel aus zwei Bestimmungen 0,594. Das Lithium ist sehr zähe und läßt sich zu Draht ausziehen, seine Festigkeit ist aber geringer als die des Bleies.

Magnesium wird am leichtesten aus einer Mischung von nahe zu gleichem Gewichte Chlorkalium und Chlormagnesium erhalten. Da das Magnesium specifisch schwerer ist als die geschmolzene Mischung, so kann man den negativen Poldraht im unteren Ende der Zerlegungszelle anbringen, was am leichtesten auf folgende Weise bewerkstelligt wird.

Man steckt durch die Röhre einer irdenen Pfeife einen Eisendraht so in dieselbe ein, daß er noch 1 bis 2 Linien in den Kopf hineinragt, wie Fig. 244 zeigt. Das in den Pfeifenkopf eingefüllte Gemisch wird geschmolzen und dann in dasselbe ein mit dem positiven Pole der Säule verbundenes Stück Kohle eingetaucht, während der Eisendraht mit dem negativen Pole der Säule in Verbindung gebracht wird.

Fig. 244.



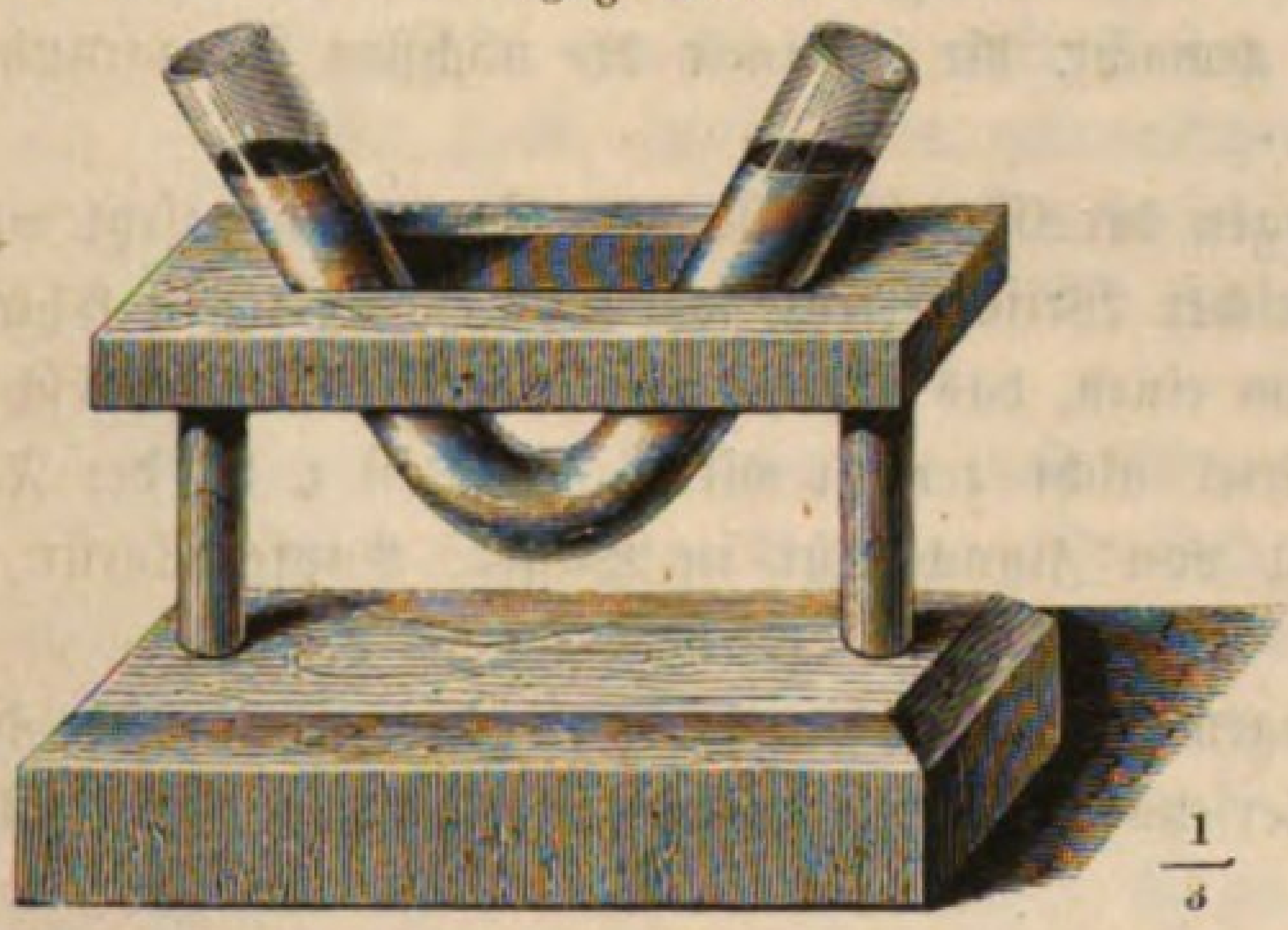
An dem Kohlenpole findet eine lebhafte Chlorentwickelung Statt. Nachdem der Strom ungefähr $1/2$ Stunde lang durch die geschmolzene Masse hindurch geleitet worden ist, wird er unterbrochen und der Pfeifenkopf zerschlagen; man findet dann zahlreiche ziemlich große Körnchen von Magnesium in der erstarrten Salzmasse.

Gemenge verschiedener Chlormetalle werden zu diesen Versuchen vorzüg-

lich deshalb angewandt, weil sie schon bei einer niedrigeren Temperatur schmelzen als die einzelnen Chlormetalle.

Galvanische Zersetzung der Salzlösungen. Auch die Salze werden durch den galvanischen Strom zerlegt, und zwar erscheint die Säure am positiven, die Basis am negativen Pole. Die Zerlegung der Salze läßt sich dem Auge auf folgende Weise sehr gut sichtbar machen. Man fülle eine 99

Fig. 245.



$\frac{1}{3}$

Uförmig gebogene Röhre, Fig. 245, mit einer Salzlösung, etwa mit einer Lösung von Glaubersalz, die durch etwas Malventinctur violet gefärbt ist. Taucht man nun auf der einen Seite den positiven, auf der anderen den negativen Poldraht in die Flüssigkeit, so tritt eine Gasentwickelung an beiden Polen ein, zugleich aber wird die Flüssigkeit am positiven Pole roth, am negativen grün gefärbt. Vertauscht man nun die Pole, so stellt sich erst allmälig die ursprüngliche violette Färbung wieder her, dann aber erscheint Roth da, wo vor der Vertauschung der Drähte Blau war, und umgekehrt.

Gießt man eine Salzlösung in zwei neben einander stehende Gefäße, die durch ein feuchtes Asbestgewebe oder durch einen mit der Flüssigkeit gefüllten Heber verbunden sind, taucht man dann in das eine Gefäß den positiven, in das andere den negativen Poldraht, so geht die Zersetzung ebenfalls vor sich, und nach einiger Zeit findet sich die Säure in dem Gefäße, in welchem der positive Draht eingetaucht ist, die Basis im anderen. Selbst wenn man in das Gefäß *A*, welches den positiven Poldraht enthält, die basische Lösung, in das andere, *B*, aber die Säure gießt, so findet sich nach einiger Zeit die Säure in *A*, die Basis in *B*. Man hat diese Versuche auf mannigfache Weise abgeändert.

In dieser Weise treten jedoch die Zersetzungserscheinungen nur bei den Alkalisalzen auf. Bei der Elektrolyse (so nennt nämlich Faraday die galvanische Zersetzung, während er die der galvanischen Zersetzung unterworfenen Flüssigkeiten mit dem Namen Elektrolyte bezeichnet) der Metallsalze, deren metallische Basis eine geringere Verwandtschaft zum Sauerstoff haben, wird am positiven Pole gleichfalls Sauerstoff ausgeschieden, am negativen Pole aber das Metall als solches niedergeschlagen. Taucht man z. B. die aus Platin bestehenden Polplatten einer Säule in eine Lösung von Kupfervitriol, so steigen am positiven Pol Bläschen von Sauerstoff auf, während man an der negativen Polplatte gar keine Gasentwickelung beobachtet. Nimmt man aber

nach einigen Minuten die negative Polplatte aus der Lösung heraus, so findet man sie vollständig mit metallischem Kupfer überzogen.

Faraday nennt die Polplatten Elektroden, Wege, auf denen der Strom in den Elektrolyten ein- und austritt, und zwar ist der positive Pol die Anode, der negative die Kathode. Die Bestandtheile des Elektrolyten heißen Jonen, und zwar ist das Kation das positive, das Anion das negative Element.

Von der Metallreduction durch den galvanischen Strom hat man zahlreiche praktische Anwendungen gemacht, die in einem der nächsten Paragraphen besprochen werden sollen.

Wenn concentrirte Lösungen der Chlormetalle dem Strom ausgesetzt werden, so werden sie meist in gleicher Weise zersetzt, wie die geschmolzenen Chlormetalle, d. h. es wird Chlor am einen, das Metall am anderen Pol ausgeschieden, während das Lösungsmittel nicht zersetzt wird. Dies ist z. B. der Fall bei einer concentrirten Lösung von Zinnchlorür in Wasser, Kupferchlorür in Salzsäure u. s. w.

Bei verdünnteren Lösungen tritt allerdings neben der Elektrolyse des Chlormetalles auch noch die Zersetzung des Lösungsmittels, also in den meisten Fällen des Wassers auf.

Eine gesättigte Lösung von Kochsalz wird so zerlegt, daß Chlor am positiven Pole entweicht. Das am negativen Pole ausgeschiedene Natrium oxydirt sich aber sogleich wieder, indem es dem Wasser der Lösung den Sauerstoff entzieht und dadurch eine entsprechende Entbindung von Wasserstoffgas bewirkt, so daß man am negativen Pole Wasserstoffbläschen aufsteigen sieht.

Chrom und Mangan hat Bunsen aus den wässerigen Lösungen der Chlorverbindungen auf folgende Weise elektrolytisch reducirt. In einem kleinen Kohlentiegel, welcher selbst wieder in einem Porzellantiegel stand, wurde eine kleine Thonzelle (ungefähr 1 Zoll hoch, $^1/_2$ Zoll weit) gesetzt und dann die Thonzelle mit der Lösung des Chlormetalls, der Kohlentiegel und Porzellantiegel aber mit Salzsäure gefüllt. Der Kohlentiegel wurde mit dem positiven Pole einer aus 6 Zinkkohlenbechern bestehenden Säule verbunden und in die Flüssigkeit der Thonzelle dann ein als negative Polplatte dienender Platinstreifen eingetaucht, während das Ganze auf einem Wasserbade warm erhalten wurde.

Als die Thonzelle eine concentrirte Lösung von chromchloridhaltigem Chromchlorür enthielt, schied sich das Chrom am Platinstreifen als zusammenhängendes, aber völlig sprödes Blech aus, dessen an dem Platinpole anliegende Fläche vollkommen blank und metallglänzend war. Das so erhaltene Chrom gleicht im äußeren Ansehn sehr dem Eisen. Nach der gleichen Methode kann man aus einer Lösung von Manganchlorür das Mangan in Form von metallglänzenden Blechen abscheiden, welche gleichfalls sehr spröde sind und sich an feuchter Luft sehr leicht oxydiren.

Wendet man statt des Platinstreifens einen amalgamirten Platindraht als negativen Pol an, so wird es sogar möglich, aus concentrirten

kochendheißen Lösungen von Chlorcalcium und Chlorbarium, Amalgam von Barium und Calcium zu erhalten (Pogg. Annal. Bd. XCI, S. 623).

Das elektrolytische Gesetz. Es kann wahrscheinlich gar kein, wenigstens kein nur einigermaßen starker elektrischer Strom durch eine Flüssigkeit hindurchgehen, ohne daß dieser Durchgang von einer chemischen Zersetzung begleitet ist, oder, mit anderen Worten, die chemische Zersetzung ist das Mittel, welches den Durchgang des Stromes durch einen Elektrolyten möglich macht. — Absoluter Alkohol, Oel u. s. w. werden nicht elektrolysirt, sie leiten aber auch den Strom nicht. In jeder Zelle eines jeden galvanischen Apparates findet eine solche Zersetzung Statt, so lange er geschlossen bleibt, und Faraday hat gezeigt, daß die Stärke des elektrischen Stromes der Zersetzung in jeder einzelnen Zelle proportional ist. 100

Daß zwischen der Leitung des elektrischen Stromes durch Flüssigkeiten und ihrer Zersetzung eine innige Beziehung stattfindet, ist wohl nicht zu verkennen, ja man kann geradezu behaupten, daß der Uebergang der Elektricität durch die chemische Zersetzung vermittelt wird. In jeder Zelle geht der positive Strom vom Zink aus durch die Flüssigkeit zum Kupfer, in derselben Richtung wandern aber auch die Wasserstoffpartikelchen fort; sie sind die Träger der positiven Elektricität, welche durch sie zu der Kupferplatte übergeführt wird.

Während gewöhnliches käufliches Zink, in verdünnte Schwefelsäure getaucht, rasch aufgelöst wird, bleibt chemisch reines oder amalgamirtes Zink in derselben Flüssigkeit fast unangegriffen. Construirt man nun eine galvanische Säule mit chemisch reinen oder mit amalgamirten Zinkplatten, so kann begreiflicher Weise in einer solchen Kette keine Wasserzersetzung stattfinden, so lange sie nicht geschlossen ist. Wird aber die Kette geschlossen, so beginnt augenblicklich die Wasserzersetzung in jeder Zelle, es wird jedoch nur gerade so viel Wasser zersetzt und Zink aufgelöst, als zur Leitung des circulirenden Stromes nöthig ist; die Menge des aufgelösten Zinks muß also in einem ganz bestimmten Verhältnisse zu diesem Strome stehen. Faraday wandte den Strom einer solchen Kette zur Wasserzersetzung an und bestimmte genau die in einer gegebenen Zeit entwickelte Menge von Knallgas. Es fand sich nun, daß für jedes Gewichtstheil Wasserstoffgas, welches zwischen den Poldrähten oder vielmehr den Polplatten frei wurde, in jeder Zelle 32,3 Gewichtstheile Zink aufgelöst worden waren. Nun aber verhalten sich die Gewichte der chemischen Aequivalente von Wasserstoff und Zink zu einander wie 12,48 zu 406,5 oder wie 1 zu 32,5. Für jedes Aequivalent Wasserstoff also, welches in der Zerlegungszelle entwickelt wird, muß in jeder Zelle der Kette 1 Aeq. Zink aufgelöst werden.

Folgender von Bunsen in Marburg angestellter Versuch mag dies erläutern. Die Thonzelle eines Zinkkohlenbechers wurde mit Kochsalzlösung gefüllt, damit gar kein directer Angriff des amalgamirten Zinkcylinders stattfände. Der Zinkcylinder wurde vor dem Versuche gewogen. Nach Einsetzung desselben in die Kochsalzlösung wurde die Kette mittelst einer Tangentenbussole geschlossen. Die Ablenkung betrug 40° 12′. Nach 5 Minuten wurde der Strom unterbrochen,

und durch eine zweite Wägung des Zinkcylinders ergab sich, daß während dieser 5 Minuten 505 Milligramme Zink aufgelöst worden waren.

Der Reductionsfactor jener Tangentenbussole ist für Marburg 63, woraus sich die Stromstärke während jener 5 Minuten gleich 53,2 ergiebt.

Nun aber wiegt 1 Cubikcentimeter Knallgas unter den oben näher bezeichneten Bedingungen 0,52 Milligramm; wäre also jener Strom in unveränderter Stärke 5 Minuten lang durch ein Voltameter gegangen, so würde er $53{,}2 \times 5 \,.\, 0{,}52 = 138{,}3$ Milligramm Wasser zersetzt haben. Da sich aber das chemische Aequivalent des Wassers zu dem des Zinkes verhält wie 112,5 zu 406, so entspricht der Zerlegung von 138,3 Milligrammen Wasser die Auflösung von $\frac{138{,}3 \,.\, 406}{112{,}5} = 499$ Milligrammen Zink, was mit der beobachteten Auflösung von 505 Milligrammen in der That sehr nahe übereinstimmt.

Nach diesen Bemerkungen ist man nun auch im Stande, die Kosten zu vergleichen, welche bei Säulen von verschiedener Construction nöthig sind, um einen Strom von bestimmter Stärke hervorzubringen. Ist bei einem gegebenen Schließungsbogen z. B. eine Säule von 6 Bunsen'schen Bechern nöthig, so wird für jedes Aequivalent Wasser, welches ein Strom von dieser Stärke in einem Voltameter zu zersetzen vermag, in jedem Becher 1 Aequivalent Zink, 1 Aequivalent Schwefelsäure und 1 Aequivalent Salpetersäure, zusammen also in der ganzen Säule 6 Aequivalente Zink, 6 Aequivalente Schwefel- und 6 Aequivalente Salpetersäure verzehrt. Wollte man nun dieselbe Stromstärke in demselben Schließungsbogen mit Daniell'schen Bechern hervorbringen, so müßte man die Zahl der zur Säule verbundenen Becher im Verhältniß von 470 zu 800 vermehren, weil sich die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Bechers zu der eines Bunsen'schen verhält, wie 470 zu 800, man müßte also eine Säule von 10 Daniell'schen Bechern anwenden und die Consumtion betrüge dann für die gleiche Stromstärke, wie sie die Bunsen'sche Kette lieferte, 10 Aequivalente Zink, 10 Aequivalente Schwefelsäure und 10 Aequivalente Kupfervitriol. Um denselben Strom mit einer Wollaston'schen Säule hervorzubringen, müßte man 24 Plattenpaare anwenden, deren Gesammtwiderstand gleich ist dem Gesammtwiderstande der 6 Bunsen'schen Becher, in diesem Falle beträgt also die Consumtion 24 Aequivalente Zink + 24 Aequivalente Schwefelsäure.

Hier ist nur die Consumtion in Anschlag gebracht, welche zur Hervorbringung des Stromes erforderlich ist; außer dieser findet aber stets noch eine bedeutende locale Wirkung an den Zinkplatten Statt, welche der Stromstärke nicht zu Gute kommt. Diese läßt sich natürlich nicht berechnen, sie ist um so größer, je stärker die Schwefelsäure ist. Der Nachtheil der localen Wirkung wächst natürlich mit der Zahl der Zellen, er wird also unter sonst gleichen Umständen bedeutender sein bei Anwendung einer Wollaston'schen Säule als bei einer Daniell'schen, und bei einer Daniell'schen bedeutender als bei einer Bunsen'schen.

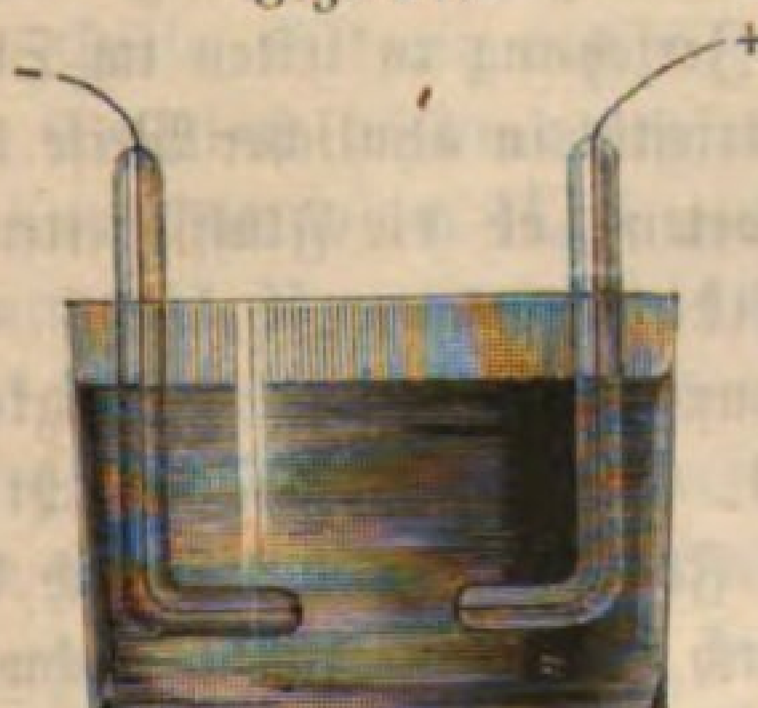
Wenn derselbe Strom durch 4 Zersetzungszellen geleitet wird, von denen die erste Wasser, die zweite Chlorsilber, die dritte Chlorblei, die vierte Chlorzinn, alle aber im flüssigen Zustande, enthält, so verhalten sich die Quantitäten Wasserstoffgas, Silber, Blei und Zinn, welche an den vier negativen Polen ausgeschieden werden, wie 1 : 108 : 103,6 : 57,9, während an den positiven Polen Sauerstoffgas und Chlor, und zwar im Verhältnisse von 8 : 35,4, ausgeschieden werden. Aehnliche Thatsachen sind für viele andere zusammengesetzte Körper dargethan worden.

Faraday hat den Satz ausgesprochen, daß binäre Verbindungen, d. h. solche, welche aus zwei Elementen zusammengesetzt sind, nur dann Elektrolyte seien, wenn 1 Aequivalent des einen Elementes immer nur mit 1 Aequivalent des anderen verbunden ist. Dies hat sich jedoch nicht bestätigt; Becquerel z. B. hat gezeigt, daß nicht allein Kupferchlorid ($CuCl$), sondern auch Kupferchlorür (Cu_2Cl) elektrolysirt werde. Dem elektrolytischen Gesetze zufolge zerlegt derselbe Strom, welcher 1 Aequivalent Kupferchlorid elektrolysirt, auch 1 Aequivalent Kupferchlorür. Wird derselbe Strom durch eine concentrirte Lösung des Chlorürs und eine concentrirte Lösung des Chlorids geleitet, so wird an den positiven Polplatten beider Zersetzungszellen gleichviel Chlor entwickelt, an den negativen Polplatten scheidet sich aber aus dem Chlorür doppelt so viel Kupfer ab, als aus dem Chlorid.

Chemische Wirkungen der Reibungselektricität. Schon im 101
Jahre 1789 brachten Päts van Troastwyck und Drimann dadurch eine Wasserzersetzung hervor, daß sie in einer mit Wasser gefüllten Röhre zwischen zwei Golddrähten die Entladungsschläge einer Leydner Flasche übergehen ließen. Wollaston beförderte die Wasserzersetzung der Reibungselektricität dadurch, daß er die Berührung der Poldrähte mit dem Wasser möglichst beschränkte, was er dadurch bewerkstelligte, daß er feine Golddrähte (gegenwärtig wendet man statt dessen Platindrähte an) in Haarröhrchen von Glas einschmolz und das auf der einen Seite hervorragende Drahtstück bis auf das Glas wegfeilte, so daß in Wasser eingetaucht der Platindraht nur noch mit seinem Querschnitte mit dem Wasser in Berührung stand.

Stellt man zwei solcher Wollaston'schen Spitzen in Wasser einander gegenüber, so erhält man an jeder derselben eine Gasentwickelung, wenn man den einen Draht zum Boden ableitet und auf den anderen vom Conductor der Elektrisirmaschine ungefähr $^1/_{20}$ Zoll lange Fünkchen überschlagen läßt.

Fig. 246.



Wollaston fand, daß bei diesem Verfahren an jeder Polspitze Sauerstoffgas und Wasserstoffgas zugleich frei wird. Buff dagegen erhielt aus luftfreiem destillirtem oder schwach gesäuertem Wasser an der positiven Polspitze reines Sauerstoffgas, über

der negativen reines Wasserstoffgas, als der eine Draht mit dem Conductor, der andere mit dem Reibzeuge einer Elektrisirmaschine in Verbindung gesetzt, und diese umgedreht wurde; und zwar erhielt er während eines dreistündigen Drehens 42,5 Cubikmillimeter Wasserstoffgas und 14,5 Cubikmillimeter Sauerstoffgas. Ersetzt man das Wasser durch eine Lösung von Kupfervitriol, so erhält man nun am positiven Pol eine Entwickelung von Gasbläschen während sich am negativen Pol Kupfer absetzt.

Wenn man auf eine Glasplatte ein Stückchen Papier legt, welches mit einer Lösung von Glaubersalz getränkt ist und dessen eine Hälfte mit Curcumatinctur gelb, dessen andere Hälfte aber durch Lackmustinctur blau gefärbt ist, wenn man alsdann auf die Lackmus-Hälfte einen Draht aufsetzt, welcher mit dem positiven Conductor der Elektrisirmaschine in Verbindung steht, während ein die andere Hälfte des Papiers berührender Draht zum Boden abgeleitet ist, Fig. 247, so entsteht um den positiven Poldraht herum ein rother, um den negativen ein brauner Fleck, sobald die Maschine einige Zeit lang gedreht wird.

Fig. 247.

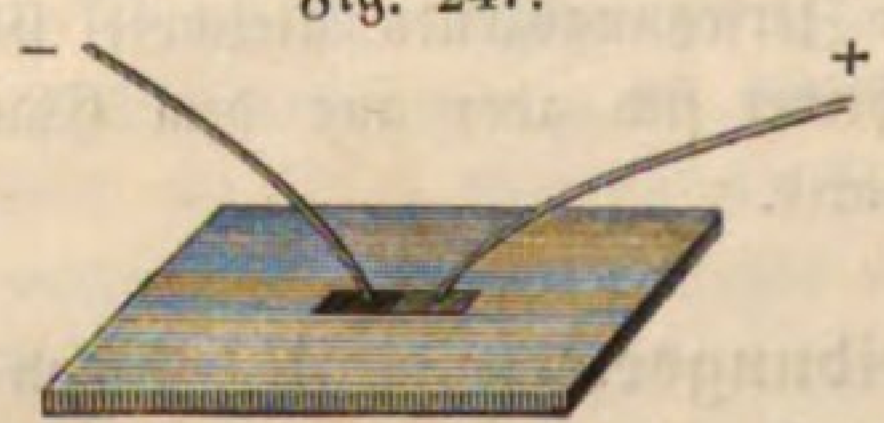


Fig. 248.



Faraday änderte diesen Versuch auch dahin ab, daß er ein auf ähnliche Weise präparirtes Stückchen Papier, von einem Glasstreifen getragen, so zwischen zwei Platinspitzen brachte, daß das Papier nicht in unmittelbarer Berührung mit den Spitzen stand, Fig. 248; die dem Lackmusende zugekehrte Spitze wurde mit dem positiven Conductor der Maschine in Verbindung gesetzt, die andere zum Boden abgeleitet. Die durch die Drehung der Maschine bewirkte Zersetzung des Salzes wurde alsbald, wie im vorigen Versuche, durch eine Farbenänderung merklich gemacht.

102 **Leitung schwacher Ströme durch Flüssigkeiten.** Die Physiker sind darüber noch nicht einig, ob die chemisch zusammengesetzten Flüssigkeiten die Elektricität einzig und allein in Folge chemischer Zersetzung zu leiten im Stande sind, oder ob sie auch geringe Mengen von Elektricität in ähnlicher Weise leiten können, wie die Metalle, oder mit anderen Worten, ob die Flüssigkeiten die Elektricität nur elektrolytisch oder auch physikalisch leiten.

Die Vertheidiger der physikalischen Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten, unter denen besonders Faraday zu nennen ist, führen für ihre Ansicht den Umstand an, daß in vielen Fällen Ströme durch Flüssigkeiten, namentlich durch Wasser, hindurchgehen, deren Existenz sich durch Multiplicatoren nachweisen läßt, ohne daß man eine Spur von Gasbildung wahrnimmt. Masson führt zu Gunsten der physikalischen Leitungsfähigkeit an, daß an zwei in Weingeist eingetauchten Platindrähten eine lebhafte Gasentwickelung eintrat, als man

mittelst derselben den Strom eines Inductionsapparates (den wir später werden kennen lernen) durch die Flüssigkeit hindurchleitete; als man aber das Gas untersuchte, fand sich, daß es nur aus Weingeistdampf bestand, daß also keine Elektrolyse stattgefunden hatte.

Unter denjenigen Physikern, welche eine ausschließlich elektrolytische Leitungsfähigkeit annehmen, sind besonders Buff und De la Rive zu nennen. Der Letztere stützt seine Ansicht besonders darauf, daß man selbst in solchen Fällen, wo ein Strom durch Flüssigkeiten geleitet wird, ohne daß man eine Gasausscheidung wahrnehmen kann, doch stets eine Polarisation der Polplatten nachgewiesen werden kann, welche doch nur die Folge einer vorausgegangenen Gasausscheidung sein kann, während Buff für die ausschließlich elektrolytische Leitungsfähigkeit besonders den Umstand hervorhebt, daß sich selbst für die allerschwächsten Ströme, durch welche stündlich nur $^1/_{80}$ Cubikmillimeter Wasserstoff ausgeschieden werden kann, die Proportionalität der Zersetzung mit der (durch einen Multiplicator gemessenen) Stromstärke noch bewährt (Annalen der Chemie und Pharmacie Bd. XCVI, S. 257).

Secundäre Action. Nicht in allen Fällen können die durch die Elek- 103
trolyse getrennten Elemente frei aus der Flüssigkeit austreten, sondern häufig geschieht es, daß sie selbst wieder chemisch auf die Flüssigkeit wirken und so eine secundäre Zersetzung veranlassen. Einen derartigen Fall haben wir bereits bei der Elektrolyse der Kochsalzlösung kennen gelernt. Das durch die Elektrolyse ausgeschiedene Natrium kann nicht für sich in der wässerigen Lösung bestehen, es entzieht dem Wasser seinen Sauerstoff und bewirkt dadurch die Entbindung einer entsprechenden Menge Wasserstoffgas. Dieses Wasserstoffgas ist also nicht direct ein Product der Elektrolyse, sondern es ist nur durch eine secundäre Wirkung frei geworden.

Ein sehr interessantes Beispiel von secundärer Action liefert die Elektrolyse einer gesättigten Salmiaklösung. Taucht man Polplatten von Platin in eine solche, so entwickelt sich Wasserstoffgas am negativen Pol; am positiven Pol aber entweicht kein Chlor, und wenn die Lösung concentrirt genug ist, auch kein Sauerstoffgas; dagegen bedeckt sich die positive Platinplatte mit gelblichen öligen Tropfen von Chlorstickstoff.

Diese Bildung des Chlorstickstoffs ist offenbar eine secundäre Wirkung. Der Salmiak (Chlorammonium, H_4NCl) wird durch die Elektrolyse in Chlor Cl und Ammonium H_4N zerlegt. Das am negativen Pole auftretende Ammonium H_4N zerfällt sogleich in Wasserstoff H, welches unter Zurücklassung von Ammoniak H_3N entweicht. Das am positiven Pole nascirende Chlor zersetzt aber das Chlorammonium der Lösung unter Bildung von Chlorstickstoff und Salzsäure. Wenn nämlich zu Chlorammonium H_4NCl noch 6 Aequivalente Chlor, also $6\,Cl$ hinzutreten, so bildet sich $4\,HCl$ (4 Aequivalente Salzsäure) und Chlorstickstoff, NCl_3.

Gießt man auf die Salmiaklösung, nachdem die beiden Polplatten in dieselbe eingetaucht sind, eine dünne Schicht von Terpentinöl, so explodiren die

aufsteigenden Tröpfchen von Chlorstickstoff, sobald sie mit dem Terpentinöl in Berührung kommen, unter Knall und Lichterscheinung. Dieser Versuch gelingt am besten, wenn die Salmiaklösung etwas erwärmt ist.

Der Sauerstoff, welcher durch den galvanischen Strom an der positiven Polplatte ausgeschieden wird, hat im Augenblicke seiner Entstehung sehr stark oxydirende Eigenschaften, so daß er Verbindungen bildet, welche der freie Sauerstoff sonst nicht direct eingeht. So liefert z. B. die Elektrolyse der Salzsäure, besonders wenn ihr ein paar Tropfen Schwefelsäure zugesetzt sind, ein Gemenge freier Chlorsäure und Ueberchlorsäure, während gleichzeitig freies Chlorgas am + Pol und Wasserstoffgas am — Pol in Masse entweichen. Es haben sich also hier Chlor und Sauerstoff im status nascens direct mit einander vereinigt.

Kolbe hat die oxydirenden Eigenschaften des elektrolysirten Sauerstoffs weiter verfolgt und namentlich auch bei organischen Substanzen interessante Zersetzungen auf diesem Wege erhalten. So erhielt er z. B. durch Einwirkung des Stromes auf eine Lösung von valeriansaurem Kali in Folge der oxydirenden Wirkung des Sauerstoffs am positiven Pole unter Ausscheidung von Kohlensäure einen eigenthümlich ölartigen Körper, den er Valyl nennt und dessen Zusammensetzung $C_8 H_9$ ist. Das reine Valyl ist in Alkohol und Aether, aber nicht in Wasser löslich, siedet bei 108° C., ist sehr entzündlich und hat ein auffallend niedriges specifisches Gewicht, nämlich 0,694.

Wir können hier diesen Gegenstand nicht weiter verfolgen. Näheres darüber in meinen »Bericht u. s. w.« Seite 442.

Taucht man die beiden aus Platin bestehenden Polplatten in eine Auflösung von Bleizucker, so bildet sich unter dem oxydirenden Einflusse des am positiven Pole elektrolysirten Sauerstoffs braunes Bleihyperoxyd, welches sich auf der positiven Polplatte absetzt.

Auf ähnliche Weise und aus demselben Grunde setzt sich am positiven Pole Manganhyperoxyd ab, wenn die Flüssigkeit aufgelöstes Manganoxydul enthält.

Das Bleihyperoxyd ist noch mehr elektronegativ als Platin, so daß eine mit Bleihyperoxyd überzogene Platinplatte sich elektronegativ gegen eine reine Platinplatte verhält. Eine Combination von Bleihyperoxyd mit Zink muß demnach einen Rheomotor geben, dessen elektromotorische Kraft noch größer ist, als die eines Bunsen'schen oder Grove'schen Bechers. Allein ein solcher Rheomotor ist sehr vergänglich. Das Wasserstoffgas, welches sich an der negativen Polplatte ausscheidet, entzieht dem Hyperoxyd einen Theil seines Sauerstoffs, so daß es in kurzer Zeit ganz verzehrt wird.

104 **Theorie der Elektrolyse der Salzlösungen.** Verfolgt man die elektrolytische Zerlegung von Salzlösungen genauer, so stößt man alsbald auf Umstände, welche auf den ersten Anblick mit dem Faraday'schen Gesetze von der festen elektrolytischen Action in Widerspruch zu stehen scheinen. Füllt man nämlich einmal ein Voltameter mit verdünnter Schwefelsäure, das anderemal

mit der Lösung eines Alkalisalzes, z. B. mit einer Lösung von Glaubersalz, so erhält man in beiden Fällen bei gleicher Stromstärke auch gleiche Mengen von Knallgas, im letzteren Fall aber neben der Wasserzersetzung auch noch eine Zerlegung des Salzes, indem sich die Säure am positiven, die Basis am negativen Pole findet.

Daniell theilte den Zersetzungsraum eines Voltameters durch eine poröse, zwischen den beiden Polplatten angebrachte Scheidewand in zwei Theile, und füllte beide Hälften mit einer Lösung von schwefelsaurem Natron. Ein durchgeleiteter Strom lieferte die der Stromstärke entsprechende Menge an Gasen, die Untersuchung der in den beiden Abtheilungen enthaltenen Flüssigkeit ergab aber, daß auf 1 Aequivalent zerlegten Wassers auch sehr nahe 1 Aequivalent Schwefelsäure in der positiven, und nahe 1 Aequivalent Natron in der negativen Zelle ausgeschieden worden war.

Außer dem Voltameter war auch noch eine Röhre mit geschmolzenem Chlorblei in den Schließungsbogen eingeschaltet gewesen, und es ergab sich das merkwürdige Resultat, daß auf 1 Aequivalent zersetzten Chlorbleis in dem Voltameter 1 Aequivalent Wasser und außerdem noch 1 Aequivalent Salz zerlegt worden war.

Nach der gewöhnlichen Betrachtungsweise erscheint also in der Salzlösungszelle eine doppelt so große chemische Wirkung als diejenige ist, welche derselbe Strom in der Chlorbleizelle hervorbrachte; mit dem Gesetze der festen elektrolytischen Action steht das im Widerspruch.

Um diesen Wiederspruch zu heben, betrachtet Daniell die Constitution der Salze anders, als es gewöhnlich geschieht; er betrachtet z. B. das schwefelsaure Natron nicht als zunächst gebildet durch die Verbindung von Säure und Basis, sondern er nimmt an, der elektronegative Bestandtheil des Salzes sei 1 Aequivalent Schwefel mit 4 Aequivalenten Sauerstoff, während der positive Bestandtheil dieses Salzes nur Natrium ist.

Gemäß dieser Ansicht wäre also

Schwefelsaures Natron	nicht	$SO_3 . NaO$,	sondern	$SO_4 . Na$,
Schwefelsaures Kali	»	$SO_3 . KO$	»	$SO_4 . K$,
Salpetersaures Kali	»	$NO_5 . KO$	»	$NO_6 . K$,
Phosphorsaures Natron	»	$PO^5/_2 . NaO$	»	$PO^7/_2 . Na$,
Kupfervitriol	»	$SO_3 . CuO$	»	$SO_4 . Cu$.

Geht der Strom durch die Auflösung eines solchen Salzes, so wird nicht das Wasser, sondern das Salz in die eben bezeichneten Bestandtheile zerlegt. Bei der Elektrolyse des Glaubersalzes tritt also an der positiven Polplatte als directe Wirkung der Elektrolyse SO_4 auf, von dem sich aber sogleich O abscheidet, um gasförmig zu entweichen und SO_3 zurückzulassen, während das am anderen Pol ausgeschiedene Na den Sauerstoff des Wassers an sich zieht, und so für jedes Aequivalent Na ein Aequivalent Wasserstoff entbindet und das durch secundäre Wirkung entstandene NaO in der Flüssigkeit gelöst bleibt.

Ganz ebenso geht der Proceß bei der Elektrolysation des Kupfervitriols vor sich, mit dem einzigen Unterschiede, daß das am negativen Pol reducirte

Kupfer sich nicht sogleich wieder oxydirt und dadurch Wasserstoff frei macht, sondern sich in metallischer Form an den negativen Pol ansetzt.

Daniell schlägt auch eine dieser theoretischen Ansicht von der Constitution der unorganischen Salze entsprechende neue Nomenclatur vor; so nennt er die Verbindung SO_4 Oxysulphion, NO_6 Oxynitrion u. s. w. Demgemäß ist

Schwefelsaures Kupferoxyd = Kupferoxysulphion,
Salpetersaures Kali = Kaliumoxynitrion,
u. s. w.

Die Versuche mit concentrirter Salmiaklösung stimmen ganz mit der Ansicht überein, daß der Salmiak Chlor-Ammonium sei, also zusammengesetzt aus dem einfachen Anion (negativer Bestandtheil) Cl (Chlor) und dem zusammengesetzten Kation (positiver Bestandtheil) NH_4 (Ammonium). Wenn der positive Pol aus Zinn besteht, so wird er aufgelöst, während am negativen Pol Wasserstoff und Ammoniak frei wird, welche durch das Zerfallen von NH_4 in NH_3 und H entstehen.

Das schwefelsaure Ammoniak ist demgemäß Ammonium-Oxysulphion, $SO_4 . NH_4$.

Diese Ansichten führen dann auch zu der in der Chemie schon mehrfach besprochenen Verallgemeinerung der Theorie der Wasserstoffsäuren, der zu Folge die wasserhaltigen Sauerstoffsäuren, wie die Wasserstoffsäuren, binäre Verbindungen von Wasserstoff mit einem Radical sind; so wäre also die wässerige Schwefelsäure $SO_4 . H$.

Zwischen Schwefelsäurehydrat $SO_4 . H$ und schwefelsaurem Natron $SO_4 . Na$ bestände demnach dieselbe Beziehung wie zwischen Salzsäure ClH und Kochsalz $ClNa$; das H ist nur durch Na ersetzt.

Mit dieser Ansicht wollen nun die Versuche über die Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure noch nicht recht harmoniren.

Wenn das Schwefelsäurehydrat wirklich Wasserstoffoxysulphion ist, so muß es bei der Elektrolyse in H und SO_4 zerlegt werden; das am positiven Pol freiwerdende Oxysulphion zerfällt aber sogleich in SO_3 und O, welch letzterer Bestandtheil gasförmig entweicht, während SO_3 in der Flüssigkeit zurückbleibt; es müßte also für jedes Aequivalent Wasserstoffgas, H, welches an der negativen, und für jedes Aequivalent Sauerstoff, O, welches an der positiven Elektrode frei wird, ein Aequivalent Schwefelsäure, SO_3 am positiven Pol auftreten; den Versuchen Daniell's zufolge findet sich aber nach der Elektrolyse in der positiven Zelle nur $1/4$ Aequivalent SO_3 mehr als vorher.

Daniell erklärt dies dadurch, daß er die verdünnte Schwefelsäure als ein zusammengesetztes Elektrolyt, bestehend aus Wasser und Schwefelsäurehydrat, betrachtet. Der Strom theile sich zwischen beiden so, daß $3/4$ durch Wasser, $1/4$ durch Schwefelsäurehydrat geleitet werde, und man erhält also

am positiven Pol	am negativen Pol
$3/4$ Aeq. O	$3/4$ Aeq. H
$1/4$ Aeq. SO_4	$1/4$ Aeq. H,

und durch Zerfallen von SO_4

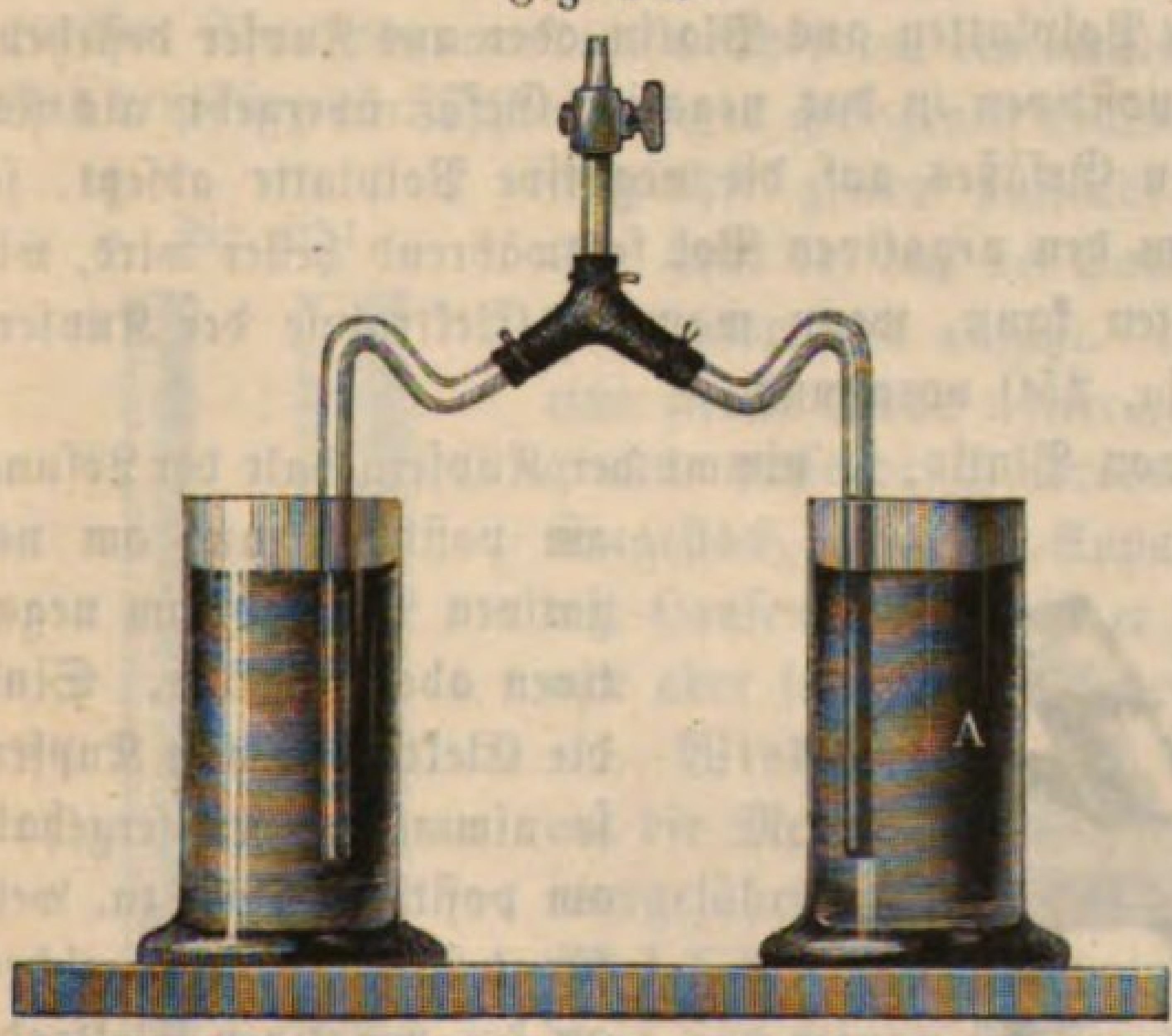
am positiven Pol	am negativen Pol
$^3/_4$ Aeq. O	$^3/_4$ Aeq. H
$^1/_4$ Aeq. SO_3 + $^1/_4$ Aeq. O	$^1/_4$ Aeq. H
$^1/_4$ Aeq. SO_3 + 1 Aeq. O	1 Aeq. H.

wie es der Versuch gezeigt hat.

Wanderung der Flüssigkeiten zwischen den Polplatten. Wenn 105
man die der Elektrolyse auszusetzende Lösung in zwei getrennte Gefäße füllt, wenn man dann dieselben durch ein mit derselben Lösung gefülltes Heberrohr verbindet, und in das eine Gefäß die positive, in das andere Gefäß die negative Polplatte eintaucht, so bleibt, wie wir dies schon im vorigen Paragraphen gesehen haben, die Zusammensetzung der Lösung in beiden Gefäßen keineswegs die gleiche, allein eine genauere Untersuchung, wie sie Hittorf und namentlich Wiedemann vorgenommen haben, zeigt bald, daß zur Erklärung der hier auftretenden Erscheinungen die im vorigen Paragraphen besprochene Daniell'sche Theorie keineswegs ausreicht.

Um nach beendigter Elektrolyse den Heber entfernen zu können, ohne daß durch denselben ein Theil des Inhalts aus dem einen Gefäße in das andere überfließen kann, wandte Wiedemann die in Fig. 249 dargestellte Vorrichtung an. In jedes der beiden Glasgefäße war ein Glasrohr eingesetzt, welches oben gebogen war, wie es unsere Figur zeigt. Diese beiden Glasröhren waren dann durch einen Kautschukschlauch verbunden, in welchem oben ein Glashahn eingesetzt war. Um den so gebildeten Heber zu füllen, wurde der Glashahn geöffnet und dann die Flüssigkeit aufgesaugt bis die Glasröhren sammt dem Kautschukschlauch ganz gefüllt waren. — Nach Beendigung der Elektrolyse wurde der Hahn geöffnet und es fiel nun der Inhalt eines jeden Rohrs in sein Gefäß zurück, ohne daß ein Ueberströmen aus einem Gefäße in das andere stattfinden konnte.

Fig. 249.



In das eine der beiden Gefäße wurde die positive, in das andere die negative Polplatte eingetaucht, und außer diesem Zersetzungsapparate noch eine mit Kupfervitriollösung gefüllte Zersetzungszelle in den Schließungsbogen

der aus 12 bis 16 Daniell'schen Bechern bestehenden Säule eingeschaltet. — Der Strom blieb 10 bis 12 Stunden im Gange, und das Gewicht des während dieser Zeit an der negativen Polplatte der Kupfervitriolzellen niedergeschlagenen Kupfers diente dann als Maß für die chemische Wirkung, welche der Strom hervorgebracht hatte.

Folgendes sind die Resultate einiger mit dieser Vorrichtung angestellten Versuche, bei welchen die in die beiden Gefäße eingetauchten Polplatten aus Platin bestanden.

Als in die beiden Gefäße verdünnte Schwefelsäure eingefüllt worden war, deren specifisches Gewicht 1,116 betrug, war nach Beendigung der Elektrolyse das Gefäß, in welches man die positive Polplatte eingetaucht hatte, reicher an Schwefelsäure geworden, und zwar fand sich, daß für 1 Aequivalent des in der Voltameterzelle niedergeschlagenen Kupfers 0,18 Aequivalent Schwefelsäure von dem negativen zum positiven Pole übergeführt worden war. In gleicher Weise fand Wiedemann für eine Natronlösung vom specifischen Gewicht 1,06, daß auf 1 Aeq. des im Voltameter abgeschiedenen Kupfers 0,16 Aeq. Natron vom positiven zum negativen Pol übergeführt worden war.

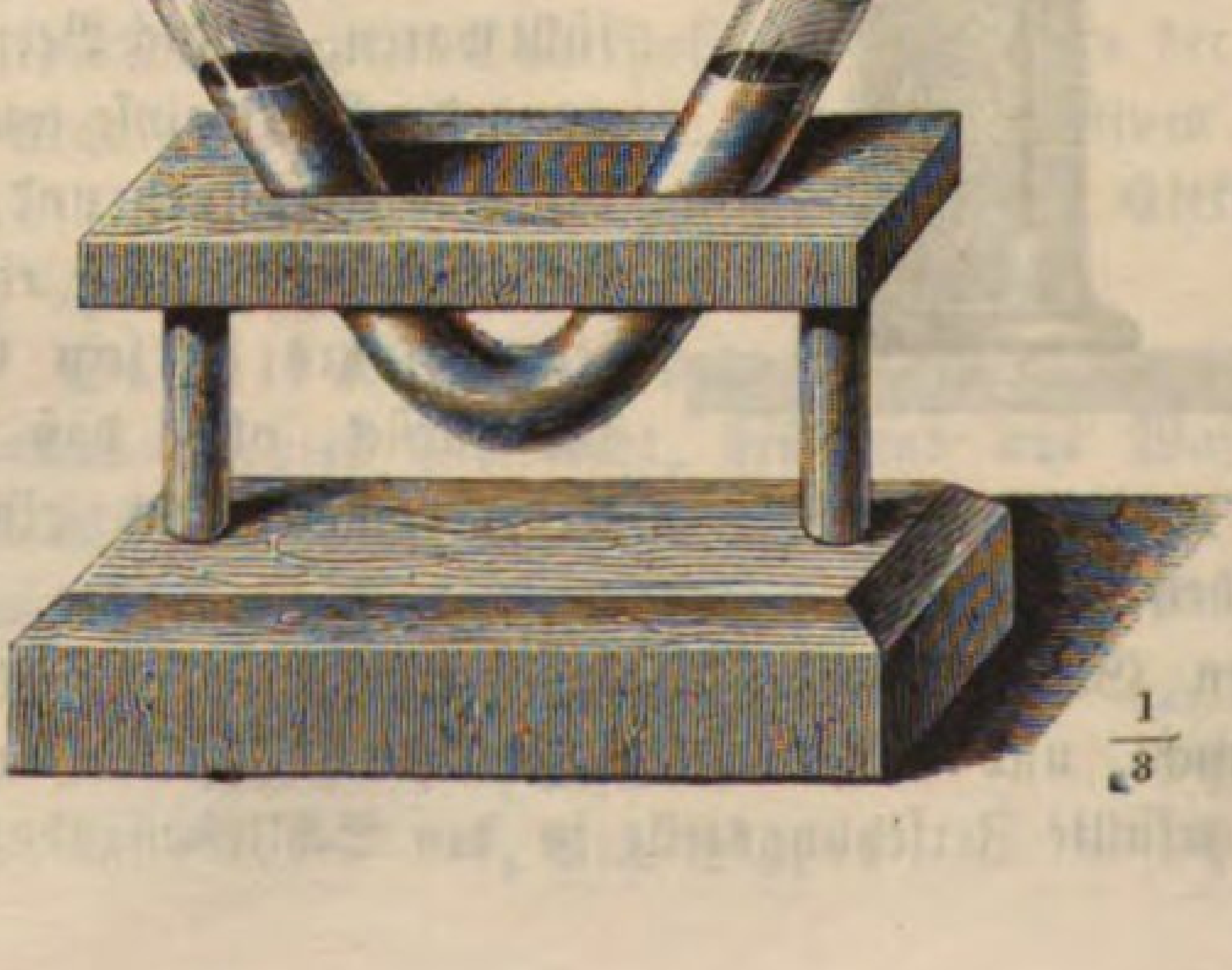
Die Säuren wandern also zum positiven, die Basen zum negativen Pol.

Als auch die beiden Glasgefäße mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt waren (specif. Gewicht 1,09), fand sich, daß auf 1 Aequivalent des an der negativen Polplatte abgesetzten Kupfers 0,18 Aeq. Kupfer in das negative Gefäß übergegangen waren, und als beide Polplatten von Kupfer waren, stieg die in das negative Gefäß übergegangene Kupfermenge auf 0,36 des an der negativen Polplatte abgelagerten Kupfers.

Da also, mögen nun die Polplatten aus Platin oder aus Kupfer bestehen, nicht soviel Kupfer aus dem positiven in das negative Gefäß übergeht, als sich aus der Lösung des negativen Gefäßes auf die negative Polplatte absetzt, so ist klar, daß die Flüssigkeit um den negativen Pol fortwährend heller wird, wie man dies auch schon beobachten kann, wenn man die Elektrolyse der Kupfervitriollösung in der Röhre Fig. 250 vornimmt.

Sind beide Polplatten von Platin, so nimmt der Kupfergehalt der Lösung am positiven und am negativen Pole ab, am negativen aber schneller. Sind die Elektroden von Kupfer, so nimmt der Kupfergehalt am positiven Pole zu, weil für 1 Aeq. Kupfer, welches an der negativen Elektrode niedergeschlagen wird, auch 1 Aeq. Kupfer vom positiven Pol gelöst wird, während eine weit geringere Kupfermenge zum negativen Pole überwandert.

Fig. 250.



Hittorf erklärt dieses eigenthümliche Verhalten dadurch, daß die Jonen mit ungleicher Geschwindigkeit ihren Polen zu wandern, daß also in unserem Falle SO_3 und O schneller gegen den positiven Pol hinwandern, als Cu nach der entgegengesetzten Richtung.

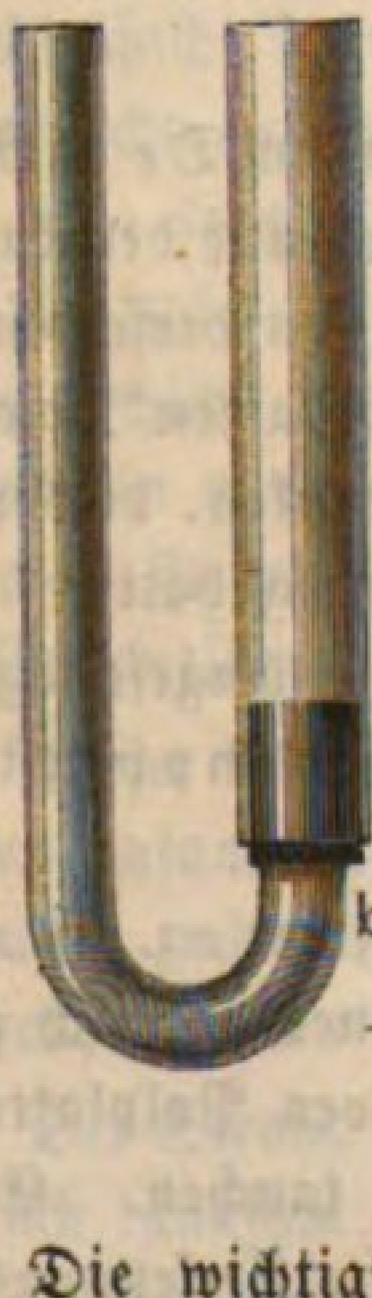
Wiedemann führt diese Erscheinungen darauf zurück, daß zu dem normalen, rein elektrolytischen Vorgange noch eine zweite Wirkung des Stromes hinzutritt, die man als eine mechanische bezeichnen kann und die wir im nächsten Paragraphen näher betrachten wollen.

Mechanische Ueberführung der Flüssigkeiten vom positiven zum negativen Pol. 106 Wie beim galvanischen Flammenbogen vorzugsweise eine Ueberströmen von positiven zum negativen Pol stattfindet, so zeigt sich auch beim Durchgange des Stromes durch Flüssigkeiten eine Tendenz, dieselben gegen den negativen Pol hinzutreiben. Wenn man die Biegung des Rohrs Fig. 250 durch einen Pfropf von feuchtem Thon verschließt, wenn man alsdann beide Schenkel zu gleicher Höhe mit reinem Wasser füllt und in dasselbe die Polplatten eine Säulen von ungefähr 6 bis 10 Bunsen'schen Bechern eintaucht, so ist zwar, wegen der schlechten Leitungsfähigkeit des Wassers die Gasentwickelung unbedeutend, dagegen findet ein bedeutendes Sinken des Wassers im positiven und ein entsprechendes Steigen im negativen Schenkel Statt. Ebenso wie beim Wasser beobachtet man dieses Ueberführen zum negativen Pol auch bei einer Lösung von Kupfervitriol.

Weingeist zeigt diese Erscheinung noch stärker als reines Wasser.

Es ist vortheilhaft, statt des Thonpfropfes eine Scheidewand von gebranntem porösen Thon anzuwenden, welches am einfachsten in folgender Weise geschieht: Auf den kürzeren Schenkel einer gebogenen Glasröhre *ab*, Fig. 251, wird eine möglichst genau passende kleine Thonzelle aufgekittet, und zwar so, daß der Boden der Thonzelle auf dem Ende des Glasrohres aufsitzt. Ueber die Thonzelle wird dann eine zweite etwas weitere aber gleichfalls wieder möglichst genau passende Glasröhre aufgekittet und zwar mit Siegellack, wenn der Apparat für wässerige Flüssigkeiten, mit Hausenblase, wenn er für Weingeist dienen soll, immer aber so, daß der Boden des Thonzellchens rein bleibt.

Fig. 251.



$\frac{1}{3}$

Wiedemann hat besondere Apparate construirt, um die Menge der durch den Strom zum negativen Pol übergeführten Flüssigkeit genau zu messen (Pogg. Annal. Bd. LXXXVII) und hat z. B. gefunden, daß bei Anwendung von reinem Wasser die Volumvermehrung auf der Seite des negativen Poles das Dreifache vom Volumen des gleichzeitig an der negativen Polplatte frei gewordenen Wasserstoffgases beträgt.

Die wichtigsten Gesetze dieser Ueberführung sind nach Wiedemann's Untersuchungen folgende:

1) Für eine und dieselbe Flüssigkeit ist die in gleichen Zeiten auf die Seite des negativen Pols übergeführte Flüssigkeitsmenge der Stromstärke proportional.

2) Unter sonst gleichen Umständen ist die Ueberführung der Flüssigkeit zum negativen Pol um so bedeutender, je größer der Leitungswiderstand der Flüssigkeit ist. —

Selbst für gut leitende Flüssigkeiten hat Wiedemann eine solche mechanische Ueberführung zum negativen Pole nachgewiesen. Wenn in dem Apparate Fig. 249, das obere Ende des in das negative Gefäß herabhängenden Rohres durch eine poröse Thonplatte verschlossen wird, und man den Strom mehrere Stunden lang durch den mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Apparat gehn läßt, so findet eine Vermehrung der Flüssigkeit im negativen Glase Statt. Bei einem derartigen Versuche betrug diese Zunahme 0,49 Cubikcentimeter, als das specifische Gewicht der Mischung 1,06 war; für ein specif. Gewicht 1,04 betrug sie 1,02 Cubikcentimeter.

Ohne Dazwischenkunft einer porösen Scheidewand, welche ein Zurückfließen in das positive Gefäß hindert, kann natürlich eine solche Vermehrung der Flüssigkeitsmenge im negativen Gefäße nicht eintreten, weil sonst jede Ueberführung durch den Strom sogleich auf hydrostatischem Wege ausgeglichen wird.

Die im vorigen Paragraphen betrachteten Erscheinungen, welche bei der Elektrolyse einer Kupfervitriollösung auftreten, ließen sich nach Wiedemann's Ansicht so erklären, daß bei der Elektrolyse des Kupfervitriols SO^3 und O von einem Kupfertheilchen zum anderen gegen den positiven Pol hin fort wandern, ohne daß die Kupferatome von ihrer Stelle weichen, was für den Fall kupferner Elektroden eine Zunahme der Concentration am + Pol bewirkt; daß aber alsdann durch die mechanische Wirkung des Stromes ein Theil der concentrirteren Lösung aus dem positiven Gefäß in das negative übergeführt wird, wogegen durch die hydrostatische Ausgleichung weniger concentrirte Lösung in das positive Gefäß zurückkommt.

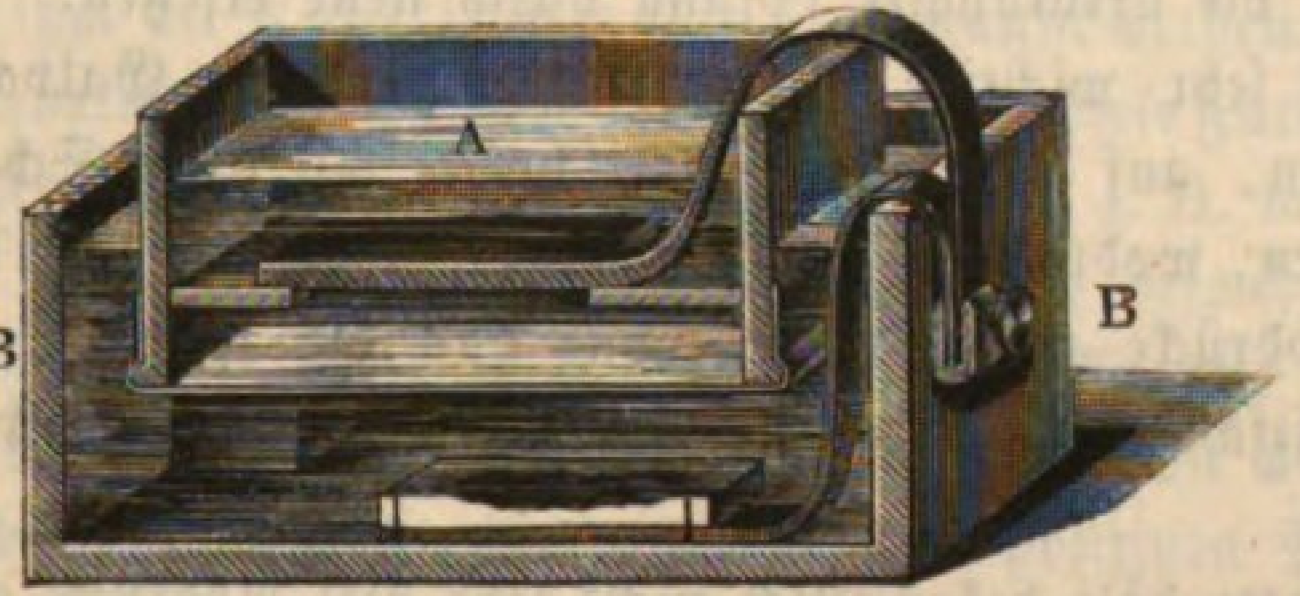
107 **Praktische Anwendungen der Elektrolyse.** Nachdem De la Rive bereits im Jahr 1836 darauf aufmerksam gemacht hatte, daß das auf der Kupferplatte eines Daniell'schen Bechers niedergeschlagene Kupfer von derselben ablösbar und ein mikroskopisch genauer Abdruck derselben sei, so kamen Jacobi und Spencer, wie es scheint fast gleichzeitig, auf den Gedanken, dies praktisch nutzbar zu machen, was denn auch den entschiedensten Erfolg hatte.

Jacobi nannte diese Methode, mittelst elektrolytisch niedergeschlagenen Kupfers den Abdruck einer beliebigen Form darzustellen, »Galvanoplastik«, ein Name, welcher allgemein adoptirt wurde.

Um einen galvanoplastischen Abdruck einer metallischen Form, z. B. einer Münze zu machen, hat man sie nur als negative Polplatte eines schwach geladenen Daniell'schen oder Bunsen'schen Bechers, der positiven Polplatte gegenüber, in eine concentrirte Lösung von Kupfervitriol zu tauchen. Es ist jedoch nicht einmal nöthig, eine vom Elektromotor gesonderte Zersetzungszelle anzuwenden, indem die metallische Form selbst die Rolle des elektronegativen

Metalls in einem einfachen Plattenpaar übernehmen kann. Fig. 252 stellt einen zu diesem Zwecke construirten Apparat dar. Ein Gefäß *A*, welches oben offen ist, dessen Boden aber aus einer Schweins- oder Ochsenblase gebildet wird, ist so in ein weiteres Gefäß *B* eingesetzt, daß der Boden von *A* ungefähr 2 Zoll über dem Boden des Gefäßes *B* sich befindet. Das Gefäß *A* wird mit stark verdünnter Schwefelsäure (ungefähr $^1/_{40}$ Schwefelsäure), das Gefäß *B* aber mit einer concentrirten Lösung von Kupfervitriol gefüllt. In die Flüssigkeit des oberen Gefäßes wird dann eine amalgamirte Zinkplatte, in die Flüssigkeit des unteren Gefäßes wird die aus einem elektronegativen Metalle bestehende Form eingesetzt.

Fig. 252.



Auf irgend eine Weise muß dafür gesorgt sein, daß die Zinkplatte in einiger Entfernung über der Blase gehalten wird, welche den Boden des Gefäßes *A* bildet, ferner ist es gut, über der Blase ein Stück Leinen auszubreiten, damit Unreinigkeiten und Metallstückchen, welche von der Zinkplatte herabfallen, nicht mit der Blase in Berührung kommen.

Die Zinkplatte ist mit einem Zinkstreifen versehen, welcher bei *z* durch eine Klemmschraube an einen Metallstreifen angedrückt wird, der zur elektronegativen Form führt.

Am zweckmäßigsten stellt man eine solche, als Matrize dienende Form aus Guttapercha her, indem man die weiche Gutterpercha auf den zu vervielfältigenden Gegenstand mittelst einer Presse aufdrückt. Um ein Anhaften zwischen der Guttapercha und dem Original zu verhindern, wird letzteres mit einer feinen Graphitschicht überzogen. Die Presse wird erst nach vollständigem Erkalten der Guttapercha geöffnet.

Eine solche Form ist freilich nicht leitend; sie wird es erst dadurch, daß man die Fläche der Form, auf welcher sich das Kupfer absetzen soll, mit einer zarten Schicht von Graphit überzieht, welche mittelst eines weichen Pinsels aufgerieben wird. Diese Form wird sodann auf einem Bleistreifen befestigt, indem man sie mittelst mehrerer Kupferstifte, welche die leitende Verbindung zwischen der Graphitschicht und dem Bleistreifen herstellen, aufnietet.

Dieser Bleistreifen, welcher bei *z* mit dem zur Zinkplatte führenden Zinkstreifen zusammengepreßt ist, muß, soweit er in die Lösung von Kupfervitriol eintaucht, mit einem isolirenden Ueberzug versehen sein, den man etwa durch Anstreichen mit einer Siegellacklösung herstellen kann.

Der Strom, welcher durch den Apparat circulirt, ist nur schwach; das Kupfer setzt sich langsam ab, und zwar setzt es sich zunächst um die Kupferstiftchen an. Je nachdem der Strom stärker oder schwächer ist, ist in einen oder mehreren Tagen die Kupferschicht dick genug zum Abnehmen. Bei schwächeren Strömen

wird der Kupferniederschlag am gleichförmigsten; deshalb darf die Flüssigkeit, in welcher sich die Zinkplatte befindet, nur schwach sauer sein.

Je mehr Kupfer sich abgesetzt hat, desto heller wird die Vitriollösung. Wenn es nöthig ist, muß man die verbrauchte Lösung durch neue ersetzen.

Man hat in neuerer Zeit sehr wichtige Anwendungen von der Galvanoplastik gemacht; es ist gelungen, auf diese Weise Holzschnitte mit aller Schärfe des Originals zu vervielfältigen, wodurch es möglich wird, von einer und derselben Figur beliebig viele Abdrücke zu erhalten, ohne daß die späteren den früheren nachstehen. Die Holzschnitte dieses Werkes sind mit solchen Kupfertypen gedruckt.

Eine gestochene Kupferplatte hält bekanntlich nicht sehr viel Abdrücke aus, ohne bedeutend zu verlieren; die späteren Abdrücke sind immer schlechter als die ersten; daher der Werth der sogenannten avant la lettre. Dadurch ist der Stahlstich so sehr in Aufnahme gekommen, weil eine Stahlplatte ungleich mehr Abdrücke aushalten kann. Für die Kunst ist dies von entschiedenem Nachtheile, weil die Härte dieses Materials dem Künstler sehr große technische Schwierigkeit entgegensetzt, welche es ihm unmöglich machen, auf Stahl ein so vollendetes Kunstwerk zu liefern, wie auf Kupfer. Nun hat man aber gelernt, selbst große Kupferplatten auf galvanoplastischem Wege zu vervielfältigen, und zwar so, daß die Abdrücke der Copien, deren man beliebig viele machen kann, denen der Originalplatte ganz gleich sind.

Endlich hat Kobell in München ein Verfahren angegeben, um in Tuschmanier gemalte Bilder durch Galvanoplastik zu vervielfältigen. Auf eine übersilberte Kupferplatte malt man mit einer Farbe, welche dadurch bereitet wird, daß man Oker oder Coaks mit einer Auflösung von Wachs und Terpentinöl anreibt und etwas Dammara-Firniß zusetzt. Mit dieser Farbe malt man auf die Platte so, daß die hellsten Lichter frei bleiben und die Farbe um so dicker aufgetragen wird, je dunkler der Schatten sein soll. Sobald das Bild fertig gemalt ist, wird es mit Hülfe eines zarten Pinsels mit feingepulvertem Graphit überzogen und dann in den galvanoplastischen Apparat eingesetzt. Allmälig schlägt sich das Kupfer auf die gemalte Platte nieder und bildet eine zweite Kupferplatte, auf welcher alle Lichtpartieen der ersteren eben, die Schattenpartieen aber vertieft sind; diese Platte liefert nun, wie eine gestochene Kupferplatte behandelt, Abdrücke, welche einer getuschten Zeichnung ähnlich sehen. Man hat es in dieser Manier schon zu großer Vollkommenheit gebracht, und es läßt sich erwarten, daß sie für die Kunst noch von großer Wichtigkeit werden wird.

Ebenso, wie sich aus einer Auflösung von Kupfervitriol auf galvanischem Wege Kupfer am negativen Pole der Kette abgesetzt, ebenso setzen sich auch andere Metalle, wie Gold, Silber, Platin, aus einer geeigneten Auflösung (gewöhnlich eine Lösung von Cyankalium mit Chlorgold oder Chlorsilber in Wasser) am negativen Pole ab, und man kann auf diese Weise andere Metalle vergolden, versilbern u. s. w. Näheres darüber würde uns hier zu weit führen.

Die Niederschläge von Bleihyperoxyd und Manganhyperoxyd,

welche, wie wir auf Seite 260 gesehen haben, auf der positiven Platte sich absetzen, zeigen oft die schönsten Farben, wenn die Schicht noch dünn genug ist. Nobili hat zuerst auf diesem Wege auf Metallplatten Farbenringe dargestellt, die nach ihm die Nobili'schen Ringe genannt werden. Man hat nun dies Verfahren in neuerer Zeit sehr vervollkommnet und diese Farbenringe auch in der Praxis zur Verzierung von mancherlei Metallwaaren, z. B. von Tischglocken ꝛc. angewandt.

Eine Bleilösung, aus welcher man besonders prachtvolle Farbenniederschläge erhält, wird nach Becquerel's Angabe bereitet, indem man feingepulverte Bleiglätte in einer Aetzkalilösung von 20 bis 22 Grad Beaumé kocht. In diese Flüssigkeit wird nun die den positiven Pol einer Säule von ungefähr 6 Daniell'schen Bechern bildende Metallplatte eingetaucht, und ihr gegenüber der aus einem Platindraht oder einer kleinen Platinplatte bestehende negative Pol der Säule gehalten. Die Farben entwickeln sich sehr rasch. Am negativen Pol scheidet sich metallisches Blei ab.

Näheres über die praktischen Anwendungen der Elektrolyse findet man, von Herrn Professor Frick bearbeitet in meinem »Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik. Erster Band.« Seite 448 bis 472.

Ein Metall, welches an und für sich von einer Säure oder irgend einer anderen Flüssigkeit angegriffen wird, kann dadurch, daß man es mit einem noch mehr elektropositiven Metalle so in Berührung bringt, daß es den negativen Pol einer einfachen Kette bildet, vor dem Anfressen geschützt werden.

So wird, wenn eine Zink- und Kupferplatte sich in einer verdünnten Säure berühren, das Zink schneller, das Kupfer weniger schnell oxydirt, als es außerdem der Fall sein würde. Für dieses Princip geben die Versuche Davy's über die Erhaltung des Kupferbeschlages der Schiffe ein schönes Beispiel. Eine Kupferplatte in Seewasser eingetaucht, ist einem schnellen Anfressen unterworfen; wenn aber das Kupfer in Berührung mit Zink oder Eisen ist, so werden diese Metalle aufgelöst, das Kupfer aber dadurch geschützt. Davy hat gefunden, daß ein Stück Zink, so groß wie der Kopf eines kleinen Nagels, hinreicht, um 40 bis 50 Quadratzoll Kupfer zu schützen.

Leider hat sich gezeigt, daß diese schöne Methode, das Kupfer rein zu erhalten, praktisch nicht angewendet werden kann, weil das Kupfer bis zu einem gewissen Grade angefressen sein muß, wenn es nicht durch Anhängen von Seegras und Schalthieren verunreinigt werden soll.

Dasselbe Princip hat v. Althaus angewandt, um das Anfressen an eisernen Pfannen, in welchen die Salzsole versotten wird, zu verhindern. Hier durfte aber das schützende Zink nicht in den Pfannen selbst angebracht werden, weil sonst der gebildete Zinkvitriol sich in der Salzlösung verbreitet hätte. Er schnitt deshalb die Ecken der Pfannen durch ein Brett ab und goß die so gebildeten Kammern deren Boden durch die Eisenplatten gebildet wurden, mit Zink aus. So war das Zink mit dem Eisen in metallischer Berührung, und die Flüssigkeit sickerte in hinlänglicher Menge durch das Holz zum Zink durch, um die Kette zu schließen; das gebildete Zinkvitriol konnte aber die Salzlösung nicht verunreinigen.

Auf diese Weise wurde es möglich, die Verdampfung bei geringerer Temperatur vorzunehmen, wodurch eine bedeutende Ersparung an Brennmaterial erzielt wurde.

108 **Elektrochemische Theorie.** Die bisher besprochenen Erscheinungen zeigen uns merkwürdige Beziehungen zwischen den chemischen und elektrischen Kräften. Schon früher hatte man unbestimmt vermuthet, daß bei den chemischen Erscheinungen elektrische Kräfte thätig sein möchten; man ging jedoch erst näher auf diese Vorstellung ein, als die Wasserzersetzung durch die *Volta*'sche Säule bekannt geworden war. Namentlich waren es *Davy* und *Berzelius*, welche dieselbe ausbildeten; sie stellten die *elektrochemische Theorie* auf, nach welcher die Grundursache der chemischen Verbindung in einer elektrischen Anziehung zu suchen ist. Wenn es auch noch nicht vollständig bewiesen ist, daß chemische Affinität und elektrische Anziehung völlig identisch sind, so muß doch zugegeben werden, daß diese Theorie als ein gemeinsames Band viele Thatsachen auf eine Weise verknüpft, welche der Erfahrung keineswegs widerspricht.

So wie Zink und Kupfer, in Berührung gebracht, entgegengesetzt elektrisch werden, so werden, nach der elektrochemischen Theorie, die Atome je zweier Elemente entgegengesetzt elektrisch, wenn sie mit einander in Berührung kommen; kurz, alle Elemente sind nach der oben, Seite 160, angegebenen Bedeutung Glieder der Spannungsreihe. Die äußersten Glieder der vollständigen Spannungsreihe sind Sauerstoff und Kalium, und zwar bildet Sauerstoff das negative, Kalium das positive Ende. Folgendes ist eine vollständigere Spannungsreihe:

—	
Sauerstoff	Zinn
Schwefel	Blei
Selen	Kobalt
Tellur	Nickel
Stickstoff	Eisen
Chlor	Chrom
Brom	Zink
Jod	Wasserstoff
Fluor	Mangan
Phosphor	Aluminium
Kohlenstoff	Beryllium
Gold	Magnesium
Platin	Calcium
Silber	Strontium
Quecksilber	Barium
Wismuth	Lithium
Antimon	Natrium
Kupfer	Kalium
Zinn	+

In dieser Reihe sind die bekannteren einfachen Stoffe enthalten, und jedem ist seine Stelle angewiesen, obgleich in dieser Beziehung noch manche Zweifel herrschen, und die Stellung der meisten Körper in der Spannungsreihe nur ungefähr aber nicht genau bestimmt ist. Bei den wenigsten Körpern ist diese Stellung durch directe Versuche ermittelt; für die meisten hat man sie aus ihrem chemischen Verhalten zu erschließen gesucht.

Nach der elektrochemischen Theorie sind die Atome der Elemente nicht an und für sich elektrisch, sie werden es erst in Berührung mit anderen, und so kommt es denn, daß ein und derselbe Körper bald positiv, bald negativ elektrisch werden kann. So bildet z. B. Schwefel in Verbindung mit Sauerstoff das elektropositive, in Verbindung mit Wasserstoff das elektronegative Element.

Wir haben gesehen, daß zwei heterogene Metallplatten, in Berührung gebracht, entgegengesetzt elektrisch werden, daß aber der größte Theil der entwickelten Elektricitäten an der Berührungsfläche gebunden bleibt; so auch bei chemischen Verbindungen. Wenn z. B. ein Sauerstofftheilchen und ein Wasserstofftheilchen in Berührung kommen, wird das erstere —, das letztere + elektrisch, die beiden Elektricitäten ziehen sich nun an und binden sich wegen der großen Nähe fast vollständig. Wenn aber auch noch etwas freie $+ E$ auf dem einen und $- E$ auf dem anderen Theilchen ist, so kann die chemische Verbindung doch durchaus keine Zeichen freier Elektricität geben, weil die positiven und negativen Theilchen gleichförmig vertheilt sind und man, wo man auch den Körper berühren mag, eben so viel positive als negative Theilchen berührt.

Zunächst verbinden sich die einfachen Stoffe, immer je zwei, zu binären Verbindungen. Die zusammengesetzten Körper, wie die Sauerstoff-, Schwefel- und Chlorverbindungen zeigen unter sich ein ähnliches Verhalten, wie die einfachen Stoffe; diejenigen binären Verbindungen der einfachen Elemente, Oxyde, Sulfüre, Chlorüre u. s. w., welche sich durch negativ elektrische Eigenschaften charakterisiren und zugleich fähig sind, Verbindungen einer höheren Ordnung einzugehen, werden S ä u r e n genannt; diejenigen, welche in ihren weiteren Verbindungen die Rolle des elektropositiven Bestandtheils übernehmen, nennt man S a l z b a s e n.

Der Charakter einer Säure wird sich im Allgemeinen um so stärker ausdrücken, je näher ihre Elemente dem negativen Ende der Spannungsreihe liegen; daher ist die Schwefelsäure die stärkste aller Säuren. Der Sauerstoff bildet Säuren mit den in der oben mitgetheilten Spannungsreihe zu oberst stehenden Körpern, Basen mit den am positiven Ende stehenden Elementen, und in der That ist Kali die stärkste aller Basen.

Wenn ein und derselbe Körper sich in mehreren Verhältnissen mit Sauerstoff verbindet, so wird die Verbindung um so mehr elektronegativ werden, sie wird um so weniger basische und um so mehr saure Eigenschaften annehmen, je mehr das elektronegativste Element, der Sauerstoff, vorherrscht. So bildet 1 Aeq. Mangan, verbunden mit 1 Aeq. Sauerstoff, das Manganoxyd, welches basische Eigenschaften hat, während 1 Aeq. Mangan + 3 Aeq. Sauerstoff die Mangansäure bilden.

Die elektrochemische Theorie reicht in ihrem jetzigen Umfange freilich noch nicht aus, um alle chemischen Erscheinungen vollständig zu erklären, aber die auf sie gegründete Classification der Körper stimmt mit dem Verhalten derselben recht gut überein und ist sehr geeignet, von den chemischen Gesetzen eine klare Ansicht zu geben.

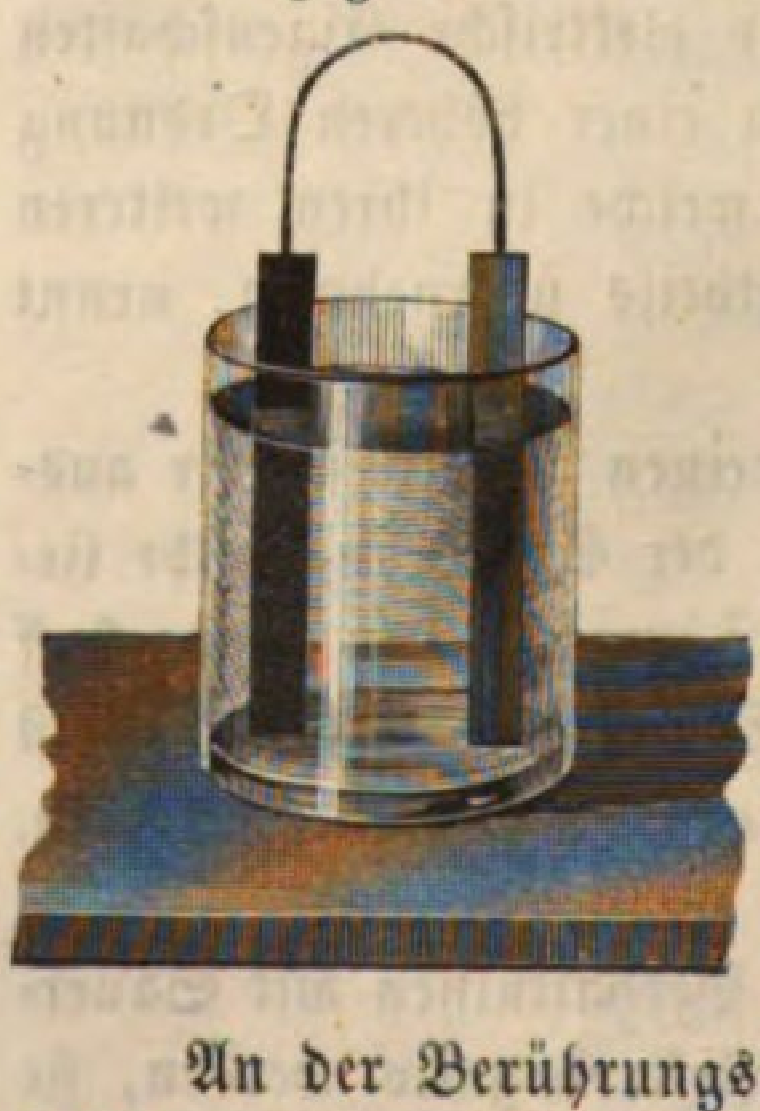
109 **Quelle der galvanischen Elektricität.** Ueber die Quelle der Elektricität, welche die galvanischen Apparate durchströmt, ist viel gestritten worden; zwei Theorien stehen einander gegenüber, von denen die eine den nicht ganz passenden Namen der Contacttheorie trägt, während die entgegenstehende Theorie als chemische Theorie bezeichnet wird.

Wir sind bisher der Contacttheorie gefolgt. Dieselbe geht von der Annahme aus, daß, wenn je zwei heterogene Körper mit einander in Berührung gebracht werden, dieselben in einen elektrischen Gegensatz treten, indem der eine positiv, der andere negativ elektrisch wird. Diese Elektricitätserregung zeigt sich im Allgemeinen am stärksten bei Berührung verschiedenartiger Metallplatten; sie tritt aber auch auf, wenngleich meistens schwächer, wenn Metalle mit leitenden Flüssigkeiten, ja wenn solche unter sich in Berührung kommen.

Die Leiter, welche bei gegenseitiger Berührung elektromotorisch wirken, müssen aber in zwei Classen getheilt werden. Die Leiter der ersten Classe folgen den Gesetzen der Spannungsreihe, was bei den Leitern zweiter Classe, den Elektrolyten, nicht der Fall ist. Letztere können auch den Strom nur in dem Maaße leiten, als sie von ihm zersetzt werden.

Wird eine Zink- und eine Kupferplatte in ein Gefäß mit Wasser getaucht, Fig. 253, und außerhalb durch einen Kupferdraht verbunden, so würde, wenn das Wasser zwischen den beiden Platten ein vollkommener Isolator wäre, ein ähnliches Verhältniß eintreten, wie zwischen den beiden Belegungen einer Leydner Flasche. Eine Strombildung wäre nicht möglich. In Folge der Beweglichkeit der Wassertheilchen tritt aber alsbald die bekannte Polarisation ein, indem sich die Sauerstoffpartikeln dem Zink, die Wasserstoffpartikeln dem Kupfer zuwenden. Bei diesem Polarisationszustande hat es aber sein Bewenden, es findet noch keine Strombildung Statt, bis die elektrische Spannung hinreichend groß geworden ist, um die Trennung der Elemente des Wassers in der bekannten Weise zu bewirken.

Fig. 253.



An der Berührungsstelle zwischen Kupfer und Zink kann nur dann eine fortdauernde Elektricitätsentwickelung stattfinden, wenn von der Zinkplatte fortwährend die positive, von der Kupferplatte fortwährend die negative Elektricität abgeführt werden. Diese Rolle nun übernehmen die Elemente des Wassers, welche zwischen den beiden Platten nach entgegengesetzten Richtungen wandern, und zwar führen die Wasserstofftheilchen die positive Elektricität von

der Zinkplatte zur Kupferplatte über, während die Sauerstofftheilchen umgekehrt die negative Elektricität von der Kupferplatte zur Zinkplatte herüber tragen.

Die Grundzüge dieser Contacttheorie rühren von Volta her. Den Einfluß der Elektrolyse auf die Stromleitung hat er nicht berücksichtigt, weil ihm die entsprechenden Erscheinungen noch unbekannt waren; die Volta'sche Theorie enthält jedoch Nichts, was ihrer Erweiterung nach dieser Seite entgegenstände.

Dieser Contacttheorie entgegen steht die chemische Theorie der Kette, welche in ihrer schroffen Form von de la Rive, Becquerel, Faraday und den meisten englischen Physikern vertreten wird. Dieser Theorie zufolge ist die Elektricitätsentwickelung in der Kette erst die Folge einer vorhergegangenen chemischen Wirkung, welche die Flüssigkeit der Kette auf das eine Metall ausübt. Auch die elektrische Spannung an den Polen der nicht geschlossenen Kette ist nach dieser Ansicht die Folge einer vorhergegangenen chemischen Einwirkung.

Diese Meinung, daß die Elektricitätsentwickelung nur die Folge vorhergegangener chemischer Wirkung sei, daß ohne chemische Zersetzung des Elektrolyten gar keine Elektricität in der Kette auftreten könne, ist es vorzugsweise, gegen welche die Angriffe der Contactisten gerichtet waren, und in der That widerspricht dieselbe einer großen Anzahl von Thatsachen. Die chemische Theorie in dieser Form ignorirt den Volta'schen Fundamentalversuch vollkommen, sie giebt keine Auskunft darüber, wie die Spannung der Elektricität an den Polen der offenen Kette mit der Anzahl der Plattenpaare zunimmt. Was aber am entschiedensten die Unhaltbarkeit dieser Ansicht darthut, ist der Umstand, daß man in der That eine Menge galvanischer Ketten construiren kann, bei denen vor der Schließung auch nicht eine Spur chemischer Zersetzung stattfindet, und die nichts desto weniger einen Strom liefern, wenn sie geschlossen werden.

Schönbein hat in einem Aufsatz »über die Ursache der hydroelektrischen Ströme«, welcher sich in seinen »Beiträgen zur physikalischen Chemie (Basel 1844)« befindet, mehrere solcher Ketten angeführt. Eine Auflösung von vollkommen neutralem schwefelsauren Zinkoxyd greift z. B. das Zink nicht an, dessen ungeachtet giebt eine Combination von Zink und Kupfer in einer Auflösung von Zinkvitriol einen Strom.

Ein fernerer sehr bedeutsamer Einwurf gegen diejenige Form der chemischen Theorie, welche die Bildung des Stromes von einem vorausgegangenen chemischen Angriff des einen Metalles der Kette ableitet, ist auch noch der, daß die elektromotorische Kraft einer Kette durchaus nicht der Stärke des chemischen Angriffs proportional ist. Steht in einer Daniell'schen Kette das Kupfer in einer Lösung von Kupfervitriol, so bleibt die elektromotorische Kraft des Apparates fast ganz ungeändert, mag nun das Zink in Wasser oder in verdünnter Schwefelsäure oder in einer neutralen Lösung von Zinkvitriol stehen. Dies hat außer anderen Physikern auch Svanberg durch genaue Messungen

nachgewiesen (Pogg. Annal. Bd. LXXIII, S. 290). Wäre der vorhergegangene chemische Angriff die Quelle des Stromes, so müßte die elektromotorische Kraft bei Anwendung der verdünnten Säure weit größer sein, als für Wasser und Zinkvitriol.

Schönbein's chemische Theorie nimmt eine Mittelstellung zwischen den eben besprochenen ein. Er ist, wie auch die Contacttheorie lehrt, der Ansicht, daß ein elektrischer Spannungszustand der Elektrolyse vorhergehe, aber als Hauptsitz der elektromotorischen Kraft läßt er nicht die Berührungsstelle der beiden Metalle, sondern die Berührungsstellen der beiden Metallflächen mit der Flüssigkeit gelten. Selbst Volta war Anfangs geneigt, den Sitz der elektromotorischen Kraft an diese Stelle zu verlegen und erst, nachdem er den bekannten Fundamentalversuch angestellt hatte, sprach er die Lehre von der Elektricitätserregung bei Berührung verschiedenartiger Metalle aus.

Nach Schönbein's Ansicht ist die Elektricitätserregung eines Plattenpaares, welches in eine erregende Flüssigkeit eingetaucht ist, wie z. B. Fig. 181, die Folge der ungleichen chemischen Affinität der Elemente des Elektrolyten zu den beiden Metallplatten. Die elektromotorische Kraft ist sonach auf eine andere Naturkraft, die chemische Affinität, zurückgeführt. Nach dieser Form der chemischen Theorie kann dieselbe von allen Strömungserscheinungen der Säule sowohl, als auch von der Spannung an den Polen der offenen Säule eben so gut Rechenschaft geben, wie die Contacttheorie; — mit dem Fundamentalversuche aber steht sie im Widerspruch, — sie muß ihn ignoriren.

Viertes Capitel.

Elektromagnetismus und Elektrodynamik.

Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom. 110
Schon lange wußte man, daß unter Umständen kräftige elektrische Entladungen die Magnetnadel afficiren können; man hatte z. B. beobachtet, daß die Compaßnadeln auf Schiffen, welche vom Blitze getroffen waren, ihre Eigenschaft verloren, den Weg des Fahrzeugs zu bezeichnen; mehrere Physiker, unter denen Franklin, Beccaria, Wilson und Cavallo zu nennen sind, versuchten solche Erscheinungen durch die Entladung von Leydner Flaschen hervorzubringen, und in der That war es ihnen auch gelungen, den magnetischen Zustand sehr kleiner Nadeln zu verändern, entweder indem sie den Funken in der Nähe der Nadel überschlagen, oder indem sie den Entladungsschlag durch die Nadel selbst gehen ließen. Alle diese Versuche aber gaben keine regelmäßigen Resultate, und man begnügte sich mit der Annahme, der elektrische Schlag wirke auf die Magnetnadel ungefähr so wie der Schlag eines Hammers. Später machte man neue Versuche mit der galvanischen Elektricität, welche eben so wenig zu einem Resultate führten. Im Jahre 1820 endlich fand Oersted, Professor in Kopenhagen, ein Mittel, die Elektricität sicher und beständig auf einen Magneten einwirken zu lassen. Er eröffnete dadurch den Gelehrten aller Länder ein neues weites Feld der Forschung, und nie vielleicht sah man in kurzer Zeit die Wissenschaft mit so viel neuen Wahrheiten bereichert werden.

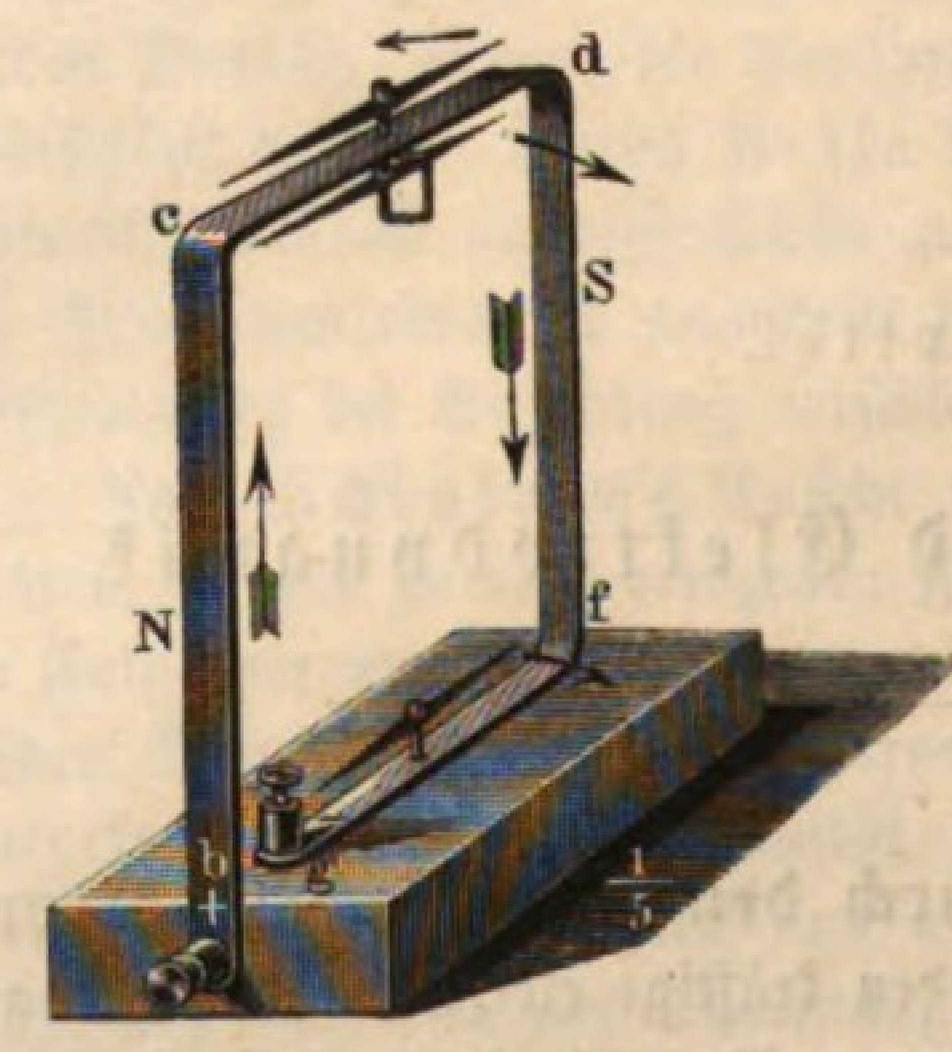
Damit die Elektricität auf den Magnetismus wirke, muß sie im Zustande der Bewegung sein. Die ruhende Elektricität im Zustande starker Spannung wirkt nicht auf den Magneten, wohl aber ein continuirlicher elektrischer Strom.

In der That, wenn man dem Schließungsdrahte einer Säule, während der elektrische Strom hindurchgeht, eine frei aufgehängte Magnetnadel nähert, so wird sie abgelenkt. Dies war der erste Versuch Oersted's, und es ist in der That zu bewundern, daß bei den vielen Versuchen, die man mit der Säule

anstellte, nicht schon längst zufällig eine Beobachtung dieser Art gemacht worden war.

Den Fundamentalversuch über die Einwirkung eines galvanischen Stromes auf die Nadel kann man auf folgende Weise anstellen: ein Streifen Kupferblech wird so gebogen, daß er ein Quadrat bildet, dessen Seiten etwa 6 bis 8 Zoll lang sein können; an den beiden Enden derselben, bei *b* und bei *g*, Fig. 254, sind Schraubklemmen aufgesetzt, in welche die Zuleitungsdrähte für den Strom eingeschraubt werden können. In der Mitte auf dem horizontalen Stücke *cd* und auf *fg* ist eine Stahlspitze befestigt, auf welche eine Magnetnadel aufgesetzt werden kann. Ebenso befindet sich eine Stahlspitze, von einem gebogenen Kupferdraht getragen, unter der Mitte von *cd*, auf welche ebenfalls eine Magnetnadel aufgesetzt wird.

Fig. 254.



Diese Vorrichtung wird nun so aufgestellt, daß die Ebene des Quadrates in die Ebene des magnetischen Meridians fällt, daß sich also die Magnetnadeln mit *cd* und *fg* parallel stellen. Sobald nun aber ein Strom durch den Apparat hindurch geht, werden die Magnetnadeln abgelenkt und zwar in der durch die ungefiederten Pfeile bezeichneten Richtung, wenn der positive Strom bei *b* ein- und bei *g* austritt und wenn *N* die Nordseite, *S* die Südseite des Apparates bildet.

In den ersten Zeiten fand man große Schwierigkeiten darin, mit wenig Worten die Beziehungen zwischen der Richtung des Stromes und der Richtung der Ablenkung auszudrücken; diese Schwierigkeiten hat Ampère auf eine sinnreiche Weise gelöst; er hat folgende Regel angegeben, um jederzeit die Richtung der Ablenkung zu bestimmen. Man denke sich in den Strom eine kleine menschliche Figur so eingeschaltet, daß der positive Strom bei den Füßen ein- und am Kopfe austritt; wenn nun diese Figur ihr Gesicht der Nadel zukehrt, so wird der Nordpol der Nadel (das Nordende) immer nach der linken Seite hin abgelenkt.

In dem Stromstücke *cd* liegt die Figur wagerecht, den Kopf nach Süden, die Füße nach Norden gekehrt. Wird die Nadel über den Strom gehalten, so muß die Figur auf dem Rücken liegen, wenn ihr Gesicht der Nadel zugekehrt sein soll; bei dieser Lage der Figur ist ihre linke Seite die westliche. Wird die Nadel unter *cd* gehalten, so muß die Figur das Gesicht nach unten kehren und nun wird ihre linke Seite die östliche.

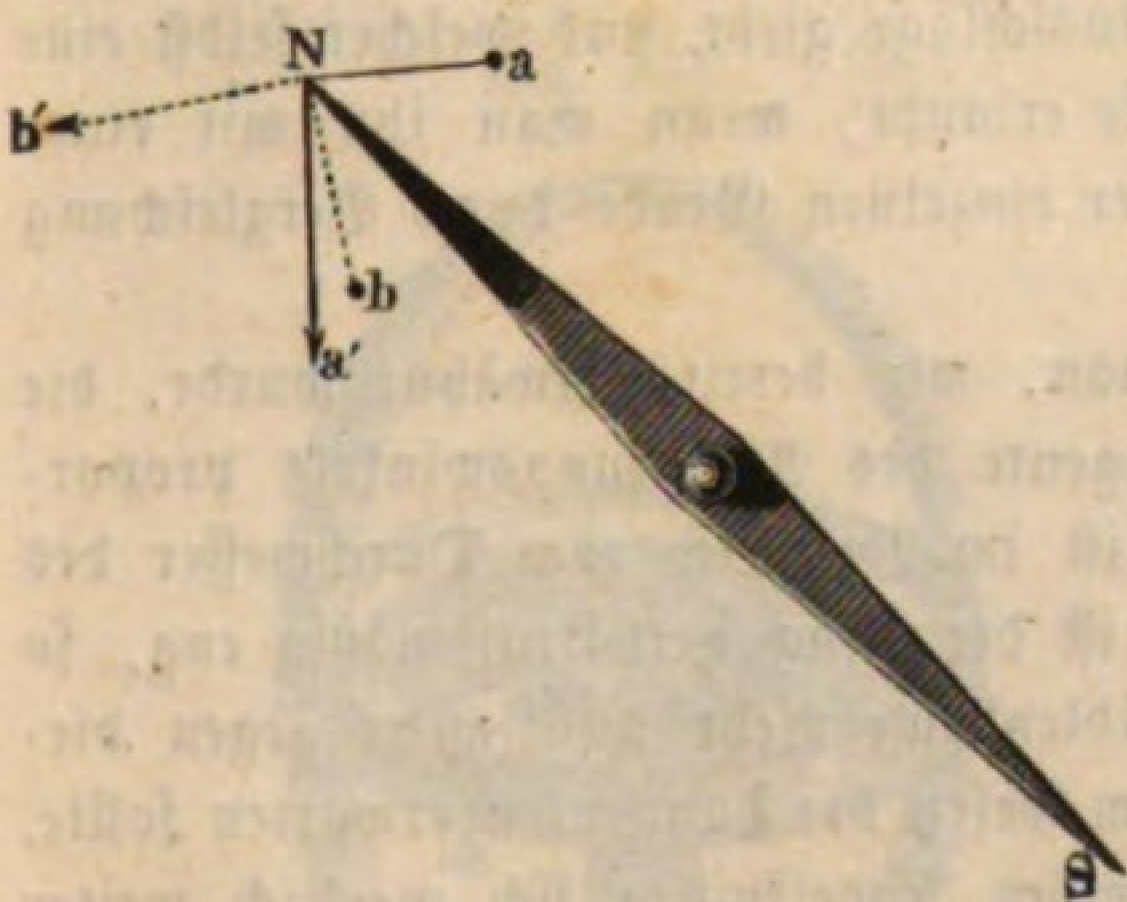
Für das Stromstück *gf* sind die Füße der Figur nach Süden, der Kopf nach Norden gekehrt; wenn die Figur auf dem Rücken liegt, ist also die linke Seite die östliche; wenn sie auf dem Leibe liegt, die westliche.

Wenn ein in der Richtung des magnetischen Meridians sich bewegender horizontaler Strom allein auf die Nadel wirkte, so würde sie sich rechtwinklig auf den magnetischen Meridian stellen; außer dem Strome wirkt aber auch noch der Erdmagnetismus, der die Nadel in den Meridian zurückzudrehen strebt. Unter dem Einflusse dieser beiden Kräfte wird also die Nadel eine Zwischenlage annehmen, sie wird mit dem magnetischen Meridiane einen Winkel machen, der um so größer wird, sich also einem rechten um so mehr nähert, je größer die Stromkraft im Vergleiche zur magnetischen Erdkraft ist.

Auch der vertical gerichtete Strom in *bc* und *df* wirkt ablenkend auf die Nadel, und zwar findet man die Richtung der Ablenkung ebenfalls nach der Ampère'schen Regel. Man denke sich nur die vertical stehende Figur dem Nordende zugewendet, so muß sich dieses Nordende nach der Linken drehen. Dabei ist aber nicht zu vergessen, daß für einen aufsteigenden Strom die Figur auf den Füßen, für einen niedergehenden auf dem Kopfe steht.

Aus dieser Ampère'schen Regel folgt, daß ein und derselbe verticale Strom das Nordende einer Nadel bald anzieht, bald abstößt, je nachdem dieser Pol sich auf der einen oder anderen Seite des Drahtes befindet. In Fig. 255 stelle *NS* eine horizontale Nadel, von oben gesehen, dar; *N* sei das Nordende der Nadel, *a* sei ein verticaler Draht, der natürlich, von oben gesehen, als Punkt verkürzt erscheint. Geht nun ein positiver Strom von unten nach oben durch den Draht, so hat man sich die Figur aufrecht zu denken; wenn aber diese aufrechte Figur nach *N* hinschaut und der Pol *N* in Beziehung auf diese Figur nach der Linken gedreht wird, also so wie es der Pfeil *a'* andeutet, so wird die Nadel offenbar von dem Drahte abgestoßen. Befände sich aber der Draht in *b*, so würde die Nadel offenbar einen Impuls in der Richtung des Pfeils *b'* erhalten, also dem Drahte genähert werden.

Fig. 255.



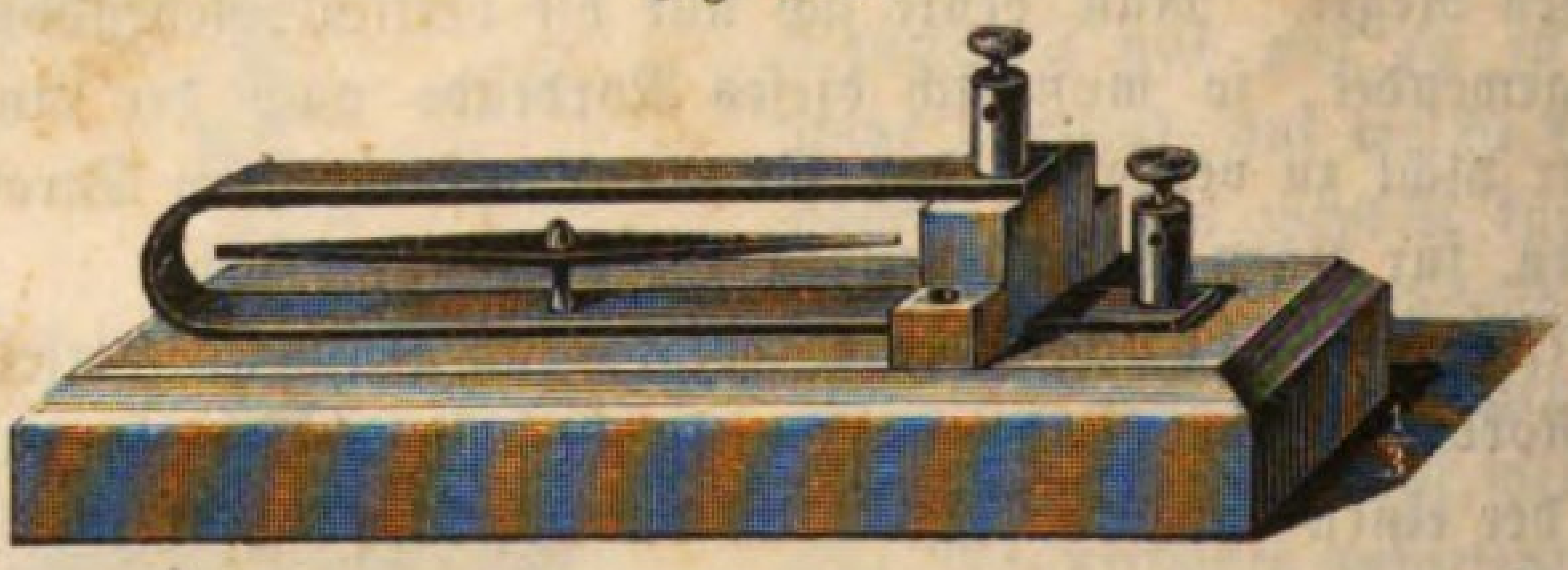
Stellt man die Wirkungen zusammen, welche die Stromstücke *bc*, *cd*, *df*, *fg* Fig. 254 auf eine Nadel ausüben, die sich innerhalb des Raumes *bcdfg* befindet, so ergiebt sich, daß alle die Nadel in gleichem Sinne abzulenken streben, und zwar läßt sich für diesen Fall die aus der Ampère'schen Regel sich ergebende Ablenkungsrichtung noch einfacher in der Weise ausdrücken, wie es bereits oben Seite 192 geschehen ist, daß das Südende der Nadel nach der Seite hin abgelenkt wird, von welcher aus betrachtet der Strom die Nadel in der Richtung umkreist, in welcher sich der Zeiger einer Uhr bewegt.

Bringt man die Nadel über das Stromstück *cd*, so wird das Nordende derselben nach derselben Seite hin abgelenkt, wie das Südende einer Nadel, welche sich innerhalb der Windungen befindet.

111 **Rheoskope und Rheometer.** Die eben besprochene Wirkung des galvanischen Stromes, eine benachbarte Magnetnadel aus ihrer Gleichgewichtslage abzulenken, dient nicht allein dazu, um Ströme nachzuweisen, sondern auch, um die Richtung zu bestimmen und ihre Stärke zu messen. Wir haben bereits Seite 190 ein namentlich zu dem letzteren Zwecke construirtes Instrument kennen gelernt, nämlich die Tangentenbussole.

Wenn es sich nicht um genauere Messung, sondern um Nachweis der Ströme überhaupt und um Ermittelung der Stromesrichtung handelt, so ist ein Apparat der in Fig. 256 dargestellten Art zweckmäßig, welcher auch schon

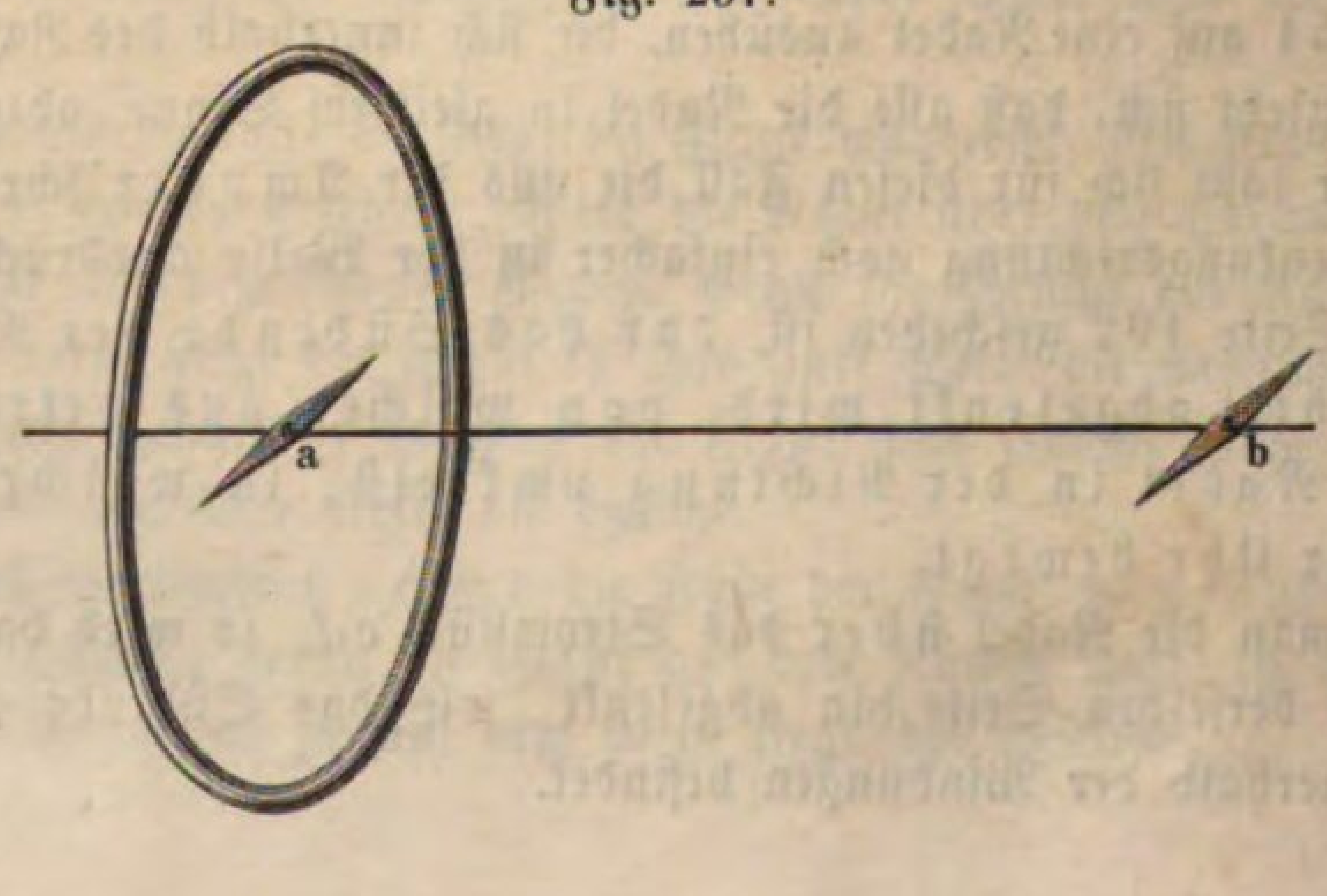
Fig. 256.



für etwas schwächere Ströme merkliche Ausschläge giebt, und welcher selbst eine annähernde Bestimmung der Stromstärke erlaubt, wenn man ihn mit einer Gradtheilung versieht und den Werth der einzelnen Grade durch Vergleichung mit der Tangentenbussole ermittelt.

Bei der Tangentenbussole kann man, wie bereits erwähnt wurde, die Stromstärke nur so lange als der Tangente des Ablenkungswinkels proportional annehmen, als die Nadel klein ist im Vergleich zum Durchmesser des Ringes. Ist dies nicht mehr der Fall, ist der Ring verhältnißmäßig eng, so wird bei zunehmender Stromstärke die Ablenkung mehr und mehr gegen diejenige zurückbleiben, welche man nach dem Gesetz der Tangenten erwarten sollte, weil ja bei wachsender Ablenkung die beiden Nadelspitzen sich merklich weiter vom Kreisstrome entfernen. Wird aber nun die Nadel aus dem Mittelpunkte *a*, Fig. 257, des Ringes herausgebracht, indem man sie auf der Axe des Kreisstromes zur Seite schiebt, so wird die Tangente des Ablenkungswinkels, wenn der Abstand der Nadel von der Ebene des Ringes etwas bedeutend geworden

Fig. 257.

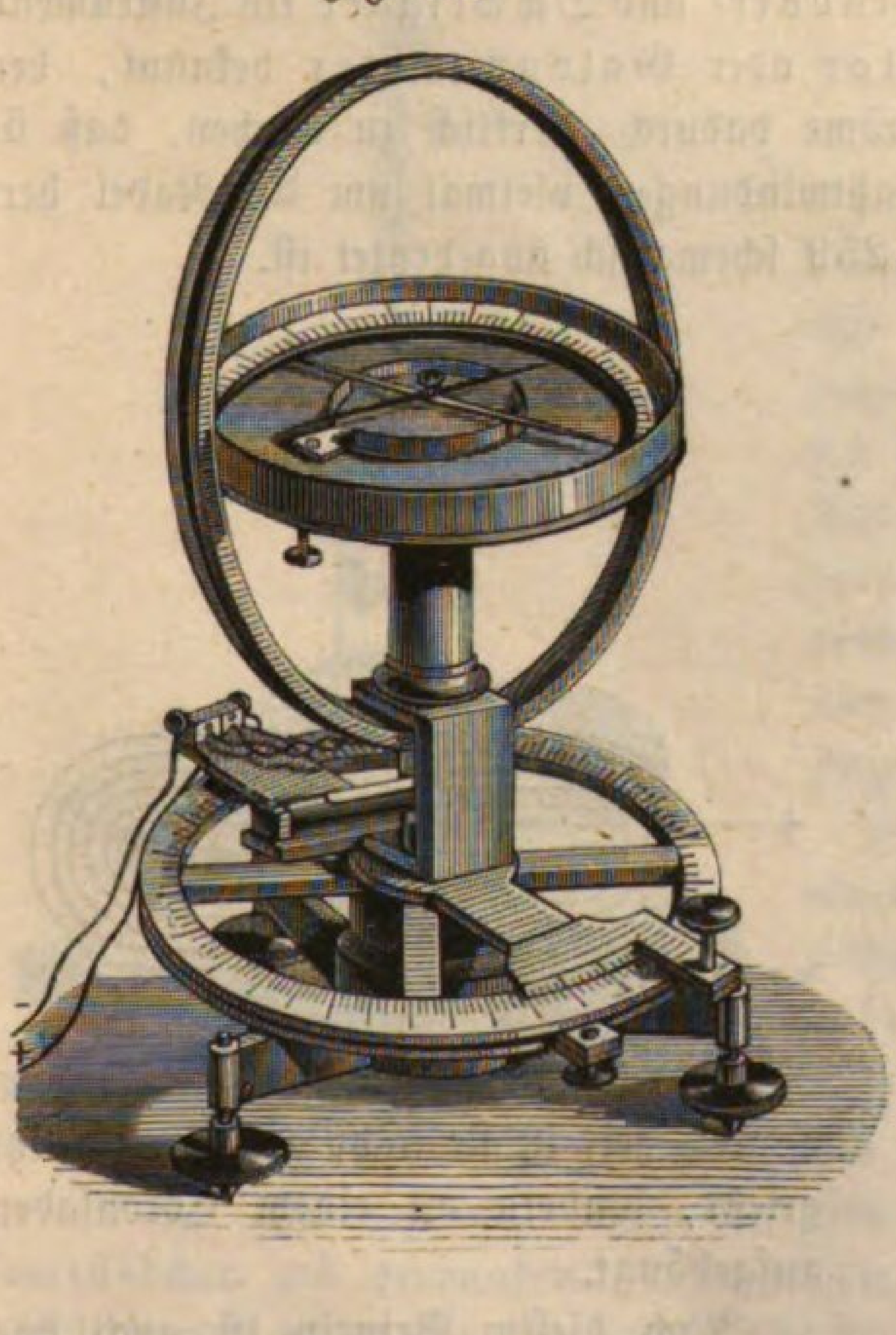


ist, wenn sich z. B. die Nadel in *b* befindet, in einem rascheren Verhältniß wachsen als die Stromstärke. Denn, wenn die Nadel aus dem magnetischen Meridian abgelenkt wird, so nähert sich das eine Ende derselben dem Ringe, während das andere sich von demselben entfernt, dabei aber nimmt die Einwirkung des Ringes auf das genäherte Ende in rascherem Verhältniß zu, als sie auf das entfernte abnimmt.

Da nun aber die durch den Strom bewirkte Ablenkung der Nadel stets etwas zu groß ausfällt, wenn sie sich in *b* befindet, während sie zu klein bleibt, wenn sie den Mittelpunkt *a* des Kreisstromes einnimmt, so muß es zwischen *a* und *b* eine Stellung für die Nadel geben, für welche in der That die Tangente des Ablenkungswinkels der Stromstärke proportional ist, und Gaugain hat gezeigt, daß dies der Fall ist: wenn der Abstand des Mittelpunktes der Nadel vom Mittelpunkte *a* des Kreisstromes $^1/_4$ des Ringdurchmessers beträgt.

Denken wir uns den Ring der Tangentenbussole um seine verticale Axe drehbar, so ist es möglich, der aus dem magnetischen Meridian abgelenkten Nadel in der Weise zu folgen, daß die Nadel stets in der Ebene des Ringes bleibt. Fig. 258 stellt ein nach diesem Princip construirtes Instrument dar, welches den Namen der Sinusbussole führt. Die Magnetnadel befindet sich im Mittelpunkte eines verticalen hölzernen Ringes, um welchen in mehreren Windungen ein übersponnener Kupferdraht gelegt ist. Wenn dieser Draht nicht durchströmt ist, stellt sich die Nadel in den magnetischen Meridian, in welchen dann auch der Ring eingestellt wird. Sobald ein Strom die Drahtwindungen durchläuft, wird die Nadel abgelenkt und man kann mit dem Ringe der Nadel folgen, bis Ring und Nadel wieder in einer Ebene liegen. Der Winkel, welchen für diesen Fall die Nadel sowohl wie die Ebene des Ringes mit dem magnetischen Meridian macht, wird auf einem horizontalen Theilkreise abgelesen.

Fig. 258.



Gesetzt, man habe mit dem Strome einer hydro-elektrischen Kette eine Ablenkung von 30° erhalten, mit einer anderen nur 20°, so ist es leicht, das Verhältniß der Stärke beider Ströme zu berechnen; denn da in beiden Fällen der Strom ganz gleiche Lage

gegen die Nadel hat, so verhalten sich die Stromstärken offenbar wie die Kräfte, die in beiden Fällen die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuführen streben. Diese Kraft ist aber im ersten Falle $R \sin. 30^0$, im zweiten $R \sin. 20^0$, die Stromstärken verhalten sich also wie die Sinus der Ablenkungswinkel, daher auch der Name Sinusbussole.

Es ist klar, daß die Stärke des Magnetismus der Nadel keinen Einfluß auf die Größe der Ablenkung hat, denn wenn die Nadel stärker magnetisch wäre, so würde die Einwirkung des Stromes und die des Erdmagnetismus auf die Nadel in gleichem Verhältniß zunehmen.

Poggendorff hat die Sinusbussole wesentlich verbessert, namentlich dadurch, daß er die Nadel an einem Coconfaden aufgehängt hat.

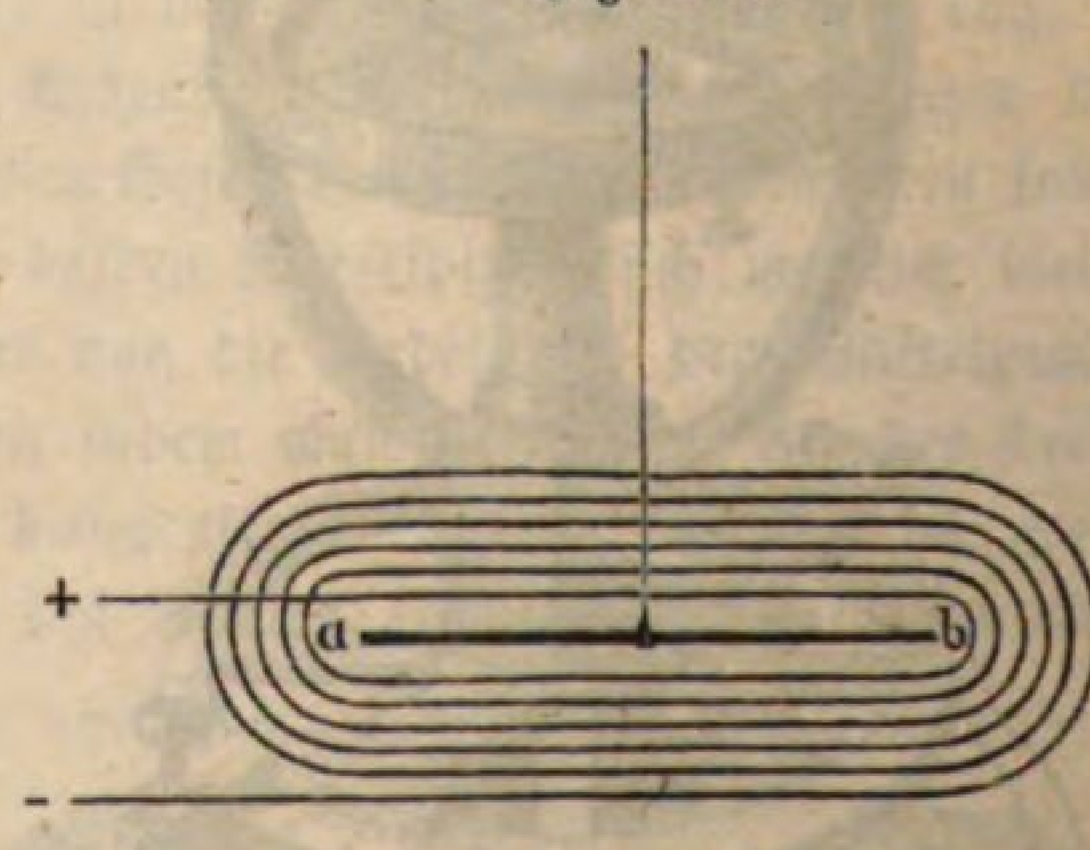
Die Sinusbussole ist zwar für schwache Ströme empfindlicher, dagegen aber auch bei Weitem nicht so bequem zum Gebrauche, wie die Tangentenbussole, welche unter den bis jetzt bekannten Rheometern in den meisten Fällen das praktischste ist.

112 **Der Multiplicator.** Kurz nachdem Oersted die wichtige Entdeckung gemacht hatte, daß der elektrische Strom, an einer Magnetnadel vorbei oder um dieselbe herumgeführt, eine Ablenkung aus dem magnetischen Meridian bewirke, construirten gleichzeitig Poggendorff und Schweigger ein Instrument, welches, unter dem Multiplicator oder Galvanometer bekannt, den Zweck hat, schwache galvanische Ströme dadurch merklich zu machen, daß sie durch eine große Anzahl von Drahtwindungen vielmal um die Nadel herumgeführt werden, wie dies in Fig. 259 schematisch angedeutet ist.

Fig. 260.



Fig. 259.



Damit die Nadel möglichst frei beweglich sei, ist sie nicht auf eine Spitze gesetzt, sondern an einem Coconfaden aufgehängt.

Nach diesem Princip ist auch das Magnetometer, Fig. 261, welches wir bereits oben S. 29 kennen lernten, dadurch noch zu einem Multiplicator

gemacht worden, daß der Stab mit einer Reihe von Windungen übersponnenen Kupferdrahtes umgeben ist. Die Drahtwindungen bestehen aus drei gesonderten Drahtstücken, von denen jedes drei Lagen bildet. Die beiden Enden eines jeden Drahtstückes sind mit einer Klemmschraube versehen, wie man Fig. 260 deutlicher sieht, und zwar bilden *f* und *f'* die Enden der untersten, *g* und *g'* die Enden der mittleren, *h* und *h'* endlich die Enden der obersten Drahtlagen. Mittelst dieser Klemmschrauben ist man nun im Stande, die Drahtlagen auf verschiedene Weise zu combiniren, je nachdem es die Eigenthümlichkeiten des durchzusendenden Stromes erfordern.

Nobili hat den Multiplicator dadurch bedeutend empfindlicher gemacht, daß er statt der einfachen Nadel ein astatisches Nadelpaar anwandte, dessen

Fig. 261.

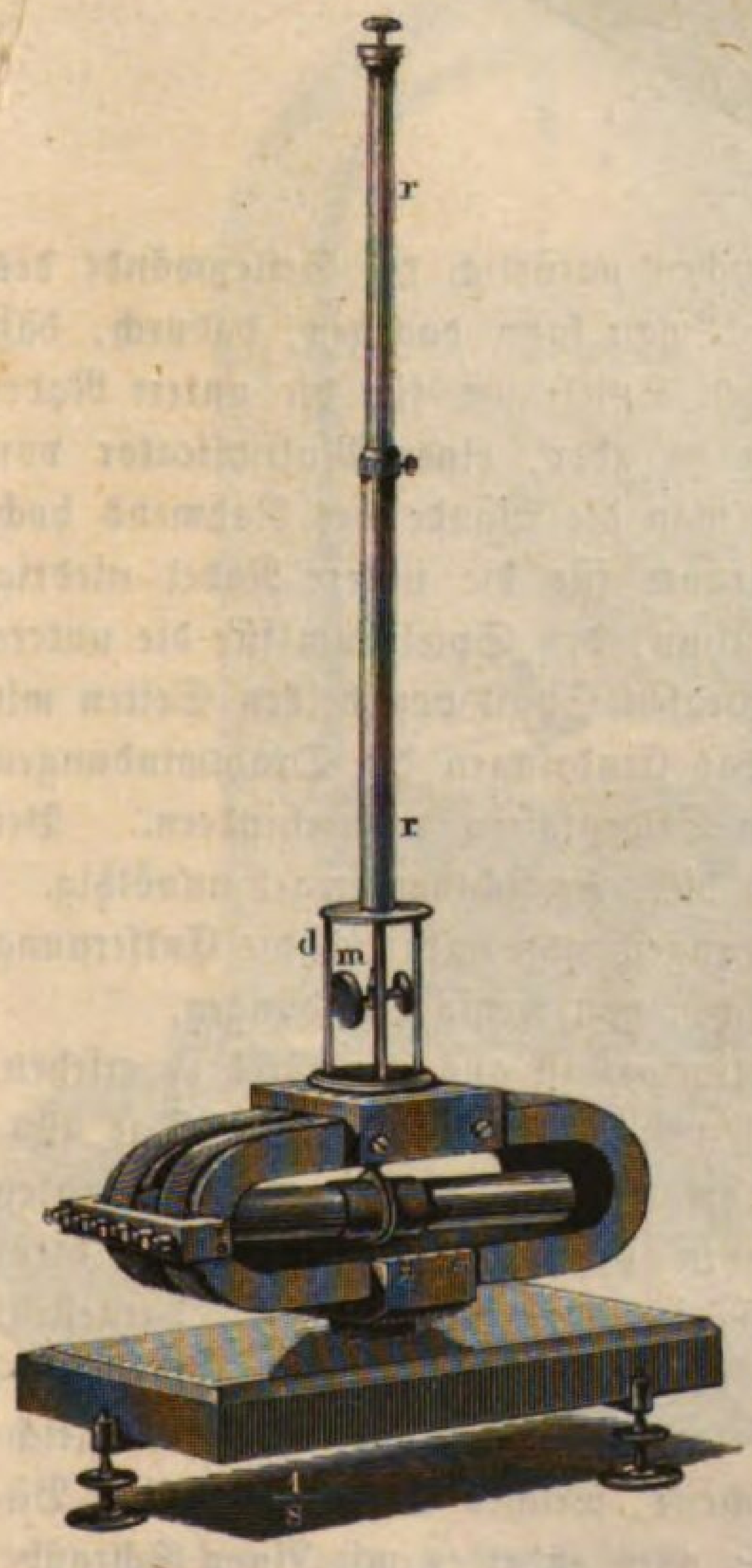
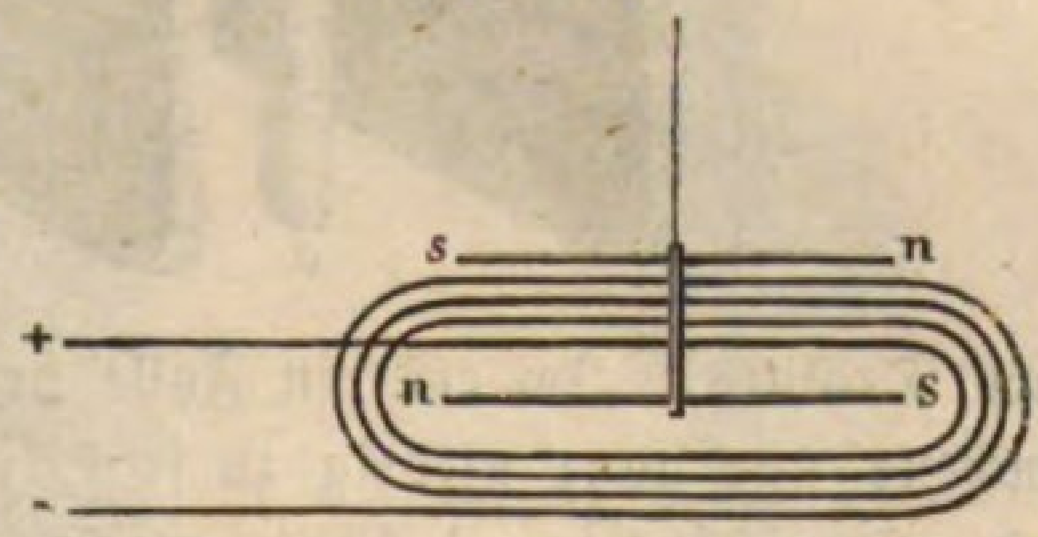


Fig. 262.



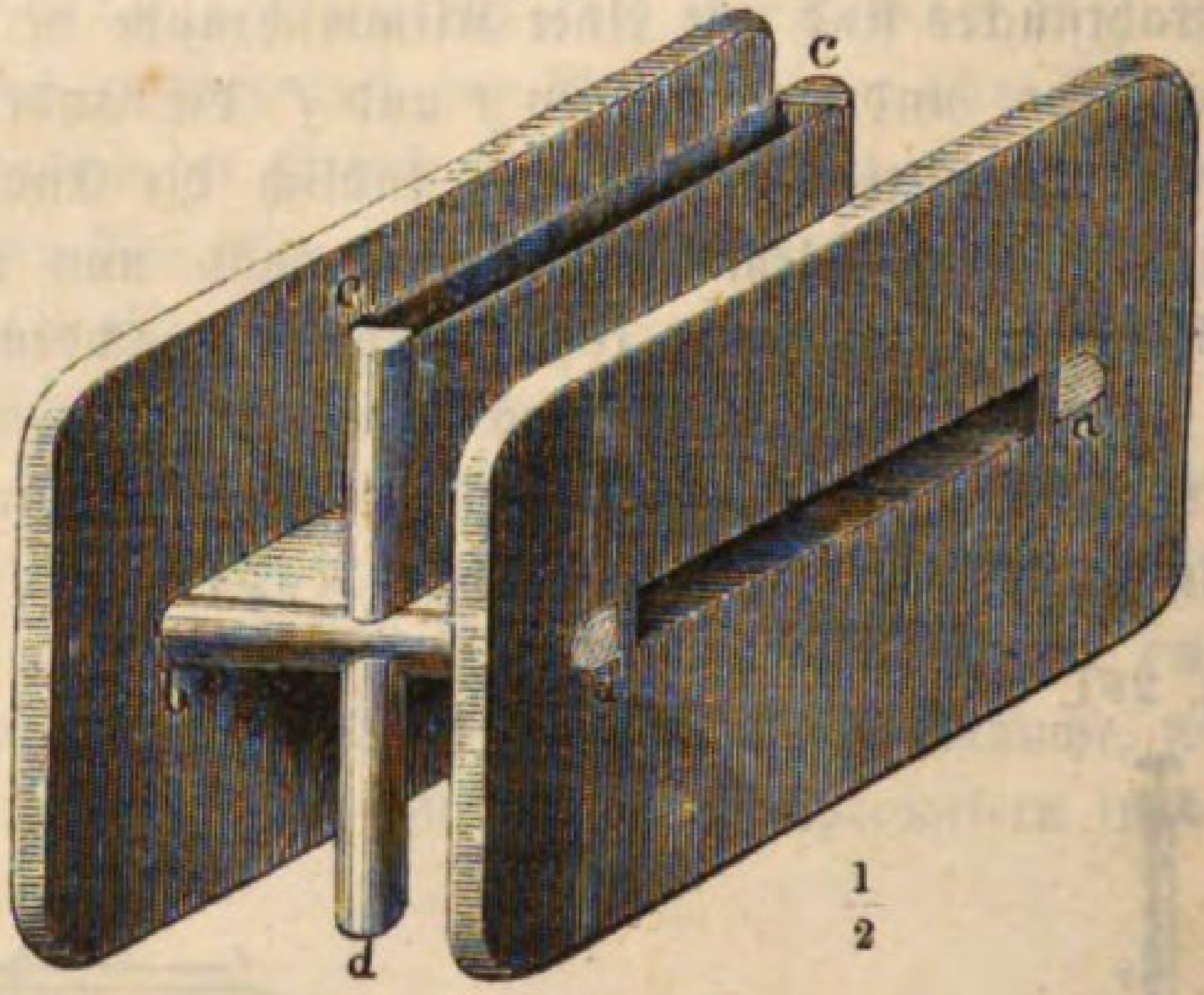
Einrichtung wir schon oben Seite 24 kennen lernten. Fig. 262 erläutert die Anordnung des Nobili'schen Multiplicators. Während das Nadelpaar nur mit geringer Kraft durch den Erdmagnetismus gerichtet wird, summirt sich die Wirkung des Stromes auf beide Nadeln, denn indem die eine Nadel innerhalb der Windungen, die andere über denselben hängt, werden beide Nadeln nach gleicher Richtung durch den Strom abgelenkt.

Fig. 263 (a. f. S.) stellt die Einrichtung eines Holzrähmchens dar, welches zur Aufnahme der Drahtwindungen eines Nobili'schen Multiplicators dient, der eine große Anzahl von Windungen haben soll. Zwei vertical stehende Brettchen sind durch horizontal stehende Querstäbchen *ab* verbunden. Indem der Draht über diese Stäbchen gewickelt wird, bleibt der Spielraum für die untere Nadel frei. Um den Spalt frei zu halten, durch welchen die untere Nadel hinabgelassen wird, geht durch die Mitte eines jeden horizontalen Stäbchens *ab* ein verticales *cd* hindurch.

Je nach dem Zwecke, zu welchem der Multiplicator gebraucht werden soll,

hat er weniger, 50 bis 100 Windungen eines Drahtes von nahe 1 Millimeter Durchmesser, oder sehr viele, 3000 bis 25000 Windungen eines möglichst

Fig. 263.



dünnen Drahtes. Im ersteren Falle brauchen natürlich die Seitenwände des Rähmchens nur ganz niedrig zu sein, und man kann dagegen, dadurch, daß man die Querstäbchen *ab* höher macht, den Spielraum für die untere Nadel in verticaler Richtung vergrößern. Gilt es aber, einen Multiplicator von vielen Windungen zu construiren, so muß man die Wände des Rahmens hoch und, um Raum zu ersparen, den Spielraum für die untere Nadel niedrig machen. In diesem Falle wird man wohlthun, den Spielraum für die untere Nadel von Oben und Unten und den verticalen Spalt von beiden Seiten mit ganz dünnen Brettchen zu bedecken, um das Eindringen der Drahtwindungen in diese Räume oder das Hineinragen von Seidenfasern zu verhindern. Bei Multiplicatoren von wenig Windungen ist diese Vorsichtsmaßregel unnöthig.

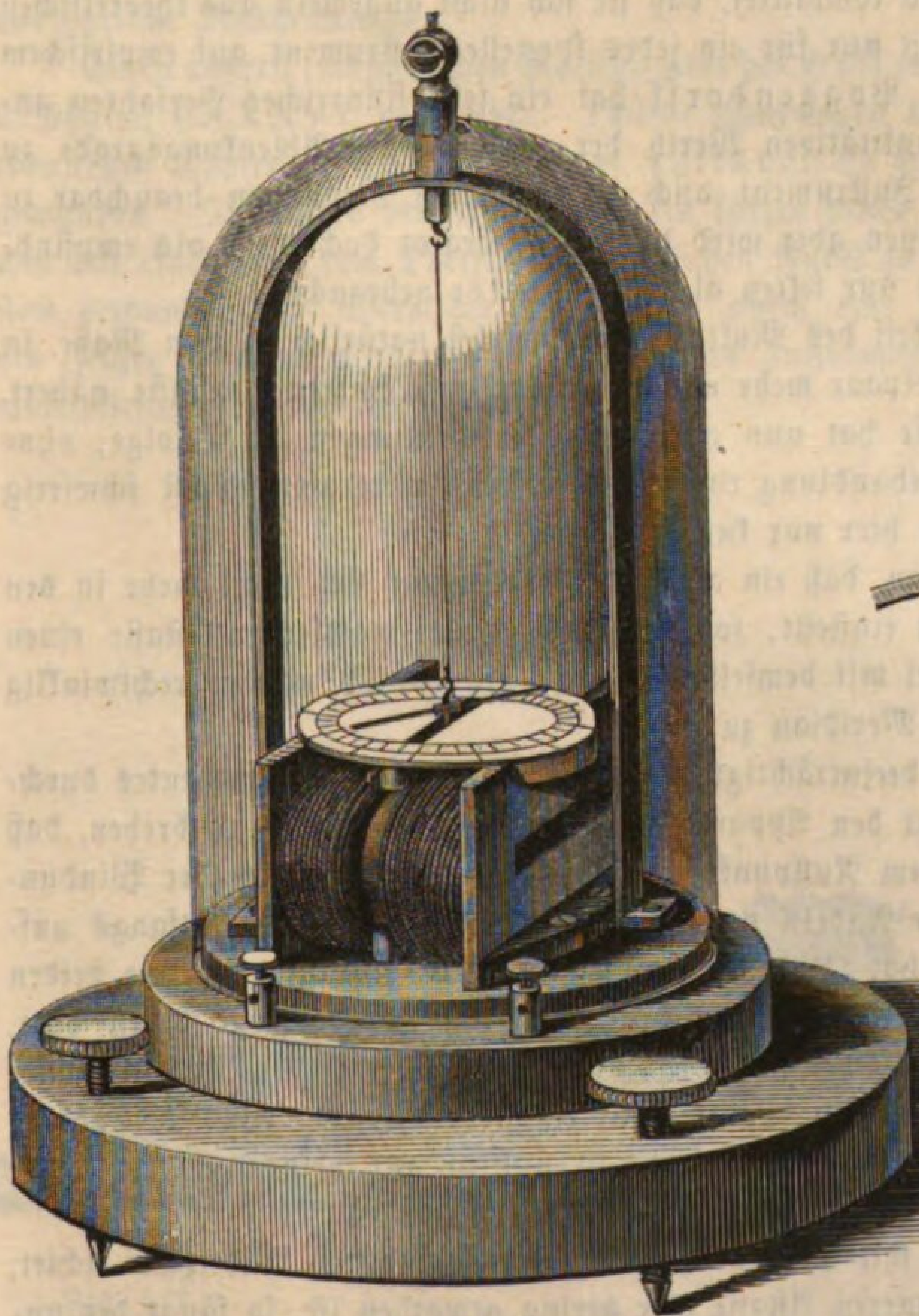
Bei Multiplicatoren von vielen Windungen muß natürlich die Entfernung der beiden Nadeln größer sein, als bei solchen von wenig Windungen.

Die Gesammteinrichtung des Multiplicators ist aus Fig. 264 zu ersehen, welche ein derartiges Instrument von vielen Windungen darstellt. Das astatische Nadelpaar hängt an einem einfachen Seidenfaden, einem sogenannten Coconfaden. Um es nach Belieben heben oder senken zu können, dient eine Vorrichtung, welche in Fig. 265 in natürlicher Größe dargestellt ist. Der Faden ist an einem Häkchen befestigt, welches das untere Ende eines vierseitigen Stäbchens bildet. Dieses Stäbchen paßt in eine gleichfalls vierseitige Oeffnung des Messingsäulchens, welches in der Mitte des Bügels sitzt, der die ganze Vorrichtung trägt; oben endet es mit einer Schraube, welche durch eine außen kugelförmige Mutter hindurchgeht. Diese Kugel ist durch einen sie umfassenden Ring an ihrer Stelle festgehalten, wenn man sie also umdreht, so muß nothwendig die Schraubenspindel und mit ihr das vierseitige Stäbchen sammt dem Faden gehoben oder gesenkt werden, je nach der Richtung, nach welcher man dreht. — Zwischen der oberen Nadel und den Windungen befindet sich ein getheilter Kreis, auf welchem man die Ablenkungen

ablesen kann. In der Richtung der Nulllinie, den Drahtwindungen parallel, ist aus dem etwa aus starkem Kartenpapiere verfertigten Theilkreise ein Spalt ausgeschnitten, der sich gerade über der von der Drahtwindung freigelassenen Spalte befindet.

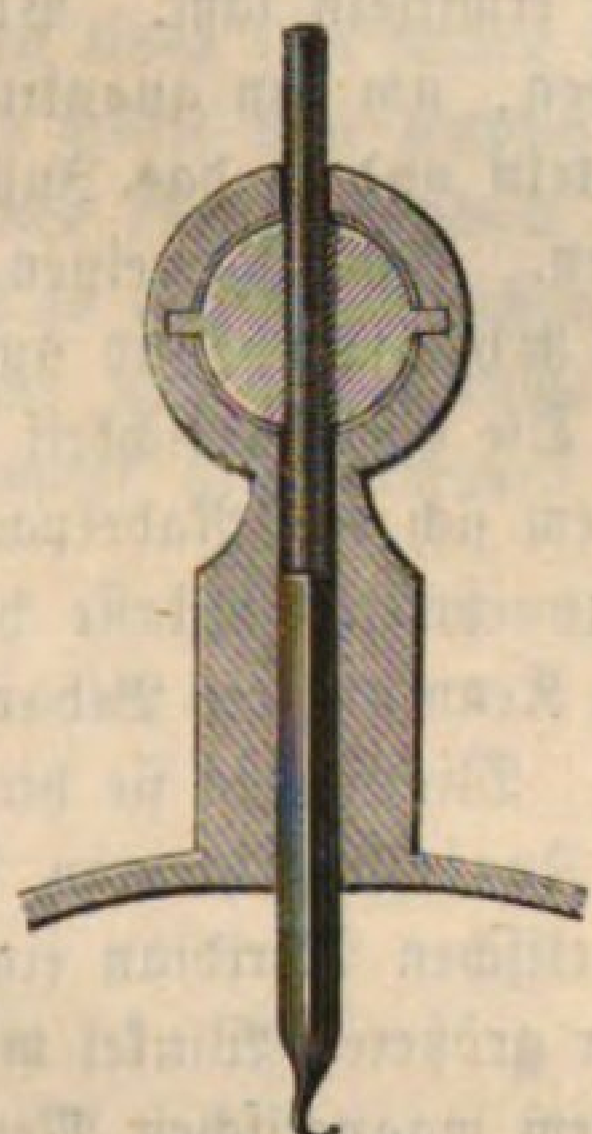
Um zu verhindern, daß die Nadel durch zu starke Ströme ganz herumgeworfen werden kann, sind 90° rechts und links von der Nulllinie Stiftchen angebracht, gegen welche die Nadel anschlägt. Du Bois hat diese Stiftchen durch ganz dünne elastische Glimmerblättchen ersetzt.

Fig. 264.



1/4

Fig. 265.



Um den Luftzug abzuhalten, ist über das Ganze eine Glasglocke gestellt. Die Enden des Multiplicatordrahtes sind in zwei Klemmschrauben geführt, welche noch außerhalb der Glasglocke stehen. In diesen Klemmschrauben werden die Drähte befestigt, welche den Strom zuführen, der den Multiplicatordraht durchlaufen soll.

Dies Alles befindet sich auf einem runden Brette, welches mittelst eines Zapfens, der in der Mitte einer zweiten Scheibe von noch größerem Durch-

messer steckt, um seine verticale Axe umgedreht werden kann, wodurch es möglich wird, das Ganze so zu drehen, daß die Ebene der Windungen der Gleichgewichtslage des Nadelpaares parallel wird, daß also die obere Nadel auf den Nullpunkt der Theilung zeigt.

In welchen Fällen Multiplicatoren mit vielen, in welchen Fällen solche mit wenigen Windungen anzuwenden sind, kann erst weiter unten erörtert werden.

Die Ablenkung der Nadeln aus ihrer Gleichgewichtslage wächst natürlich mit der Stromstärke, doch ist die Beziehung zwischen dem Ablenkungswinkel und der Stromstärke so complicirt, daß sie sich nicht allgemein aus theoretischen Betrachtungen, sondern nur für ein jedes specielle Instrument auf empirischem Wege ermitteln läßt. Poggendorff hat ein sehr sinnreiches Verfahren angegeben, um den quantitativen Werth der verschiedenen Ablenkungsgrade zu ermitteln und so das Instrument auch zu genaueren Messungen brauchbar zu machen. Im Allgemeinen aber wird der Multiplicator doch mehr als empfindliches Rheoskop und nur selten als Rheometer gebraucht.

Die Empfindlichkeit des Multiplicators wächst natürlich in dem Maße, in welchem sich das Nadelpaar mehr und mehr der vollkommenen Astasie nähert. Die zunehmende Astasie hat nun aber einige Erscheinungen im Gefolge, ohne deren Kenntniß die Behandlung empfindlicher Multiplicatoren höchst schwierig wird. Wir wollen sie hier nur kurz anführen.

Zunächst sieht man, daß ein astatisches Nadelpaar sich nicht mehr in den magnetischen Meridian einstellt, sondern daß es bei wachsender Astasie einen immer größeren Winkel mit demselben macht, um endlich nahezu rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian zu stehen.

Dieser Umstand beeinträchtigt die Brauchbarkeit des Instrumentes durchaus nicht, man hat nur den Apparat um seine verticale Axe so zu drehen, daß die obere Nadel auf dem Nullpunkte einsteht, daß also die Ebene der Windungen mit der Ebene der Nadeln parallel ist. Den Grund dieser Anfangs auffallenden Erscheinung hat schon Nobili richtig darin erkannt, daß die beiden Nadeln doch nie absolut genau in eine und dieselbe Verticalebene fallen oder, mit anderen Worten, daß die Horizontalprojectionen der beiden Nadeln immer einen, wenn auch sehr kleinen, Winkel mit einander bilden. Was die nähere Erörterung dieses Gegenstandes betrifft, so muß ich auf meinen »Bericht über die neueren Fortschritte der Physik, Seite 782« verweisen.

Wenn die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus das Nadelpaar richtet, in Folge der vollkommneren Astasie sehr gering geworden ist, so fängt der unbedeutende fast unvermeidliche Eisengehalt des Kupferdrahtes, welcher zu den Windungen verwendet wurde, an, störend zu wirken, indem die Drahtmassen zu beiden Seiten des Spaltes das Nadelpaar nach beiden Seiten hin ziehen und so ein stabiles Gleichgewicht auf der Nulllinie unmöglich machen. In einem solchen Falle ist es nicht möglich, die Nadel auf der Nulllinie zum Einstehen zu bringen, sie weicht stets nach der einen oder anderen Seite ab. — Hier ist es nun am zweckmäßigsten, die Astasie des Nadelpaares gerade so weit

zu beschränken oder, mit anderen Worten, die richtende Kraft der Erde durch andere Mittel noch so weit zu unterstützen, daß das Nadelpaar eben in der Nulllinie zurückgehalten wird. Man erreicht dies durch ein zweckmäßig aufgestelltes Magnetstäbchen, den sogenannten Berichtigungsstab, über dessen Anwendung man gleichfalls in dem oben angeführten »Bericht u. s. w.« Näheres findet.

Ueber die Construction und die Behandlung empfindlicher Multiplicatoren, namentlich solcher von vielen Windungen, findet man in den »Untersuchungen über die thierische Elektricität« von Du Bois sehr gründliche und ausführliche Mittheilungen.

Einen äußerst empfindlichen Multiplicator hat Buff in den »Annal. d. Chem. u. Pharm. LXXXVI, beschrieben. 12000 Windungen eines sehr feinen übersponnenen Kupferdrahtes sind auf eine cylindrische Hülse von Kupfer aufgewunden. Innerhalb derselben hängt ein kurzes dickes Magnetstäbchen, welches mit einer über dem Theilkreise beweglichen Nadel zu einem astatischen System verbunden ist. Wird die obere Nadel durch eine nicht magnetische nur als Zeiger dienende Nadel ersetzt, so ist das Instrument gewissermaßen eine multiplicirende Tangentenbussole.

Fig. 266.

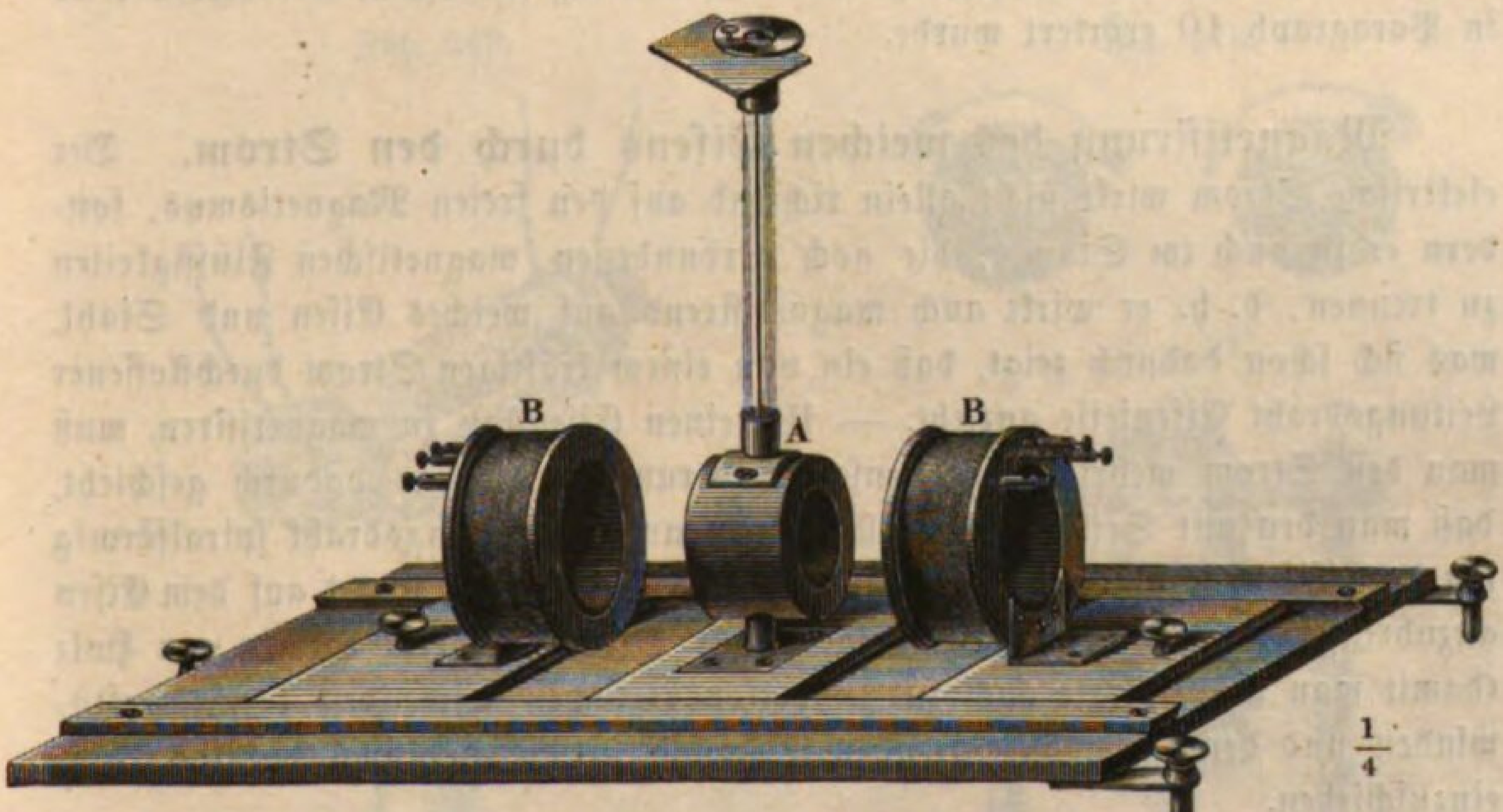


Fig. 267.



Durch Benutzung mehrerer von verschiedenen Physikern gemachten Verbesserungen hat Wiedemann den äußerst zweckmäßigen Multiplicator Fig. 266 hergestellt. Innerhalb einer Kupferhülse *A*, deren Wanddicke 17mm beträgt, hängt, von einem Coconfaden getragen, ein Stahlspiegel von 1mm Dicke und 19mm Durchmesser, welcher so magnetisirt war, daß sein horizontaler Durchmesser die magnetische Axe desselben bildete, wie dies Fig. 267 darstellt.

Auf jeder Seite der Kupferhülse *A* ist eine Drahtspirale *B* so angebracht, daß die Axen der Drahtspiralen in die Verlängerung der Axe der Kupferhülse fallen, und daß man sie nach Belieben der Kupferhülse nähern, ja theilweise über dieselbe schieben, oder sie von derselben entfernen kann. Jede dieser Spiralen ist durch zwei 60 Meter lange 1^{mm} dicke Drähte gebildet; jedes Drahtende ist mit einer besonderen Schraubklemme versehen, so daß die einzelnen Drähte auf mannigfaltige Weise mit einander verbunden werden können.

Der Apparat wird so aufgestellt, daß die Axe der Drahtwindungen und der Kupferhülse rechtwinklig auf dem magnetischen Meridiane steht, daß also die Ebene des Stahlspiegels, wenn er nur durch den Erdmagnetismus gerichtet wird, parallel mit der Ebene der Drahtwindungen ist.

Um Luftströmungen abzuhalten, ist die Kupferhülse auf beiden Seiten durch geschliffene Glasplatten verschlossen.

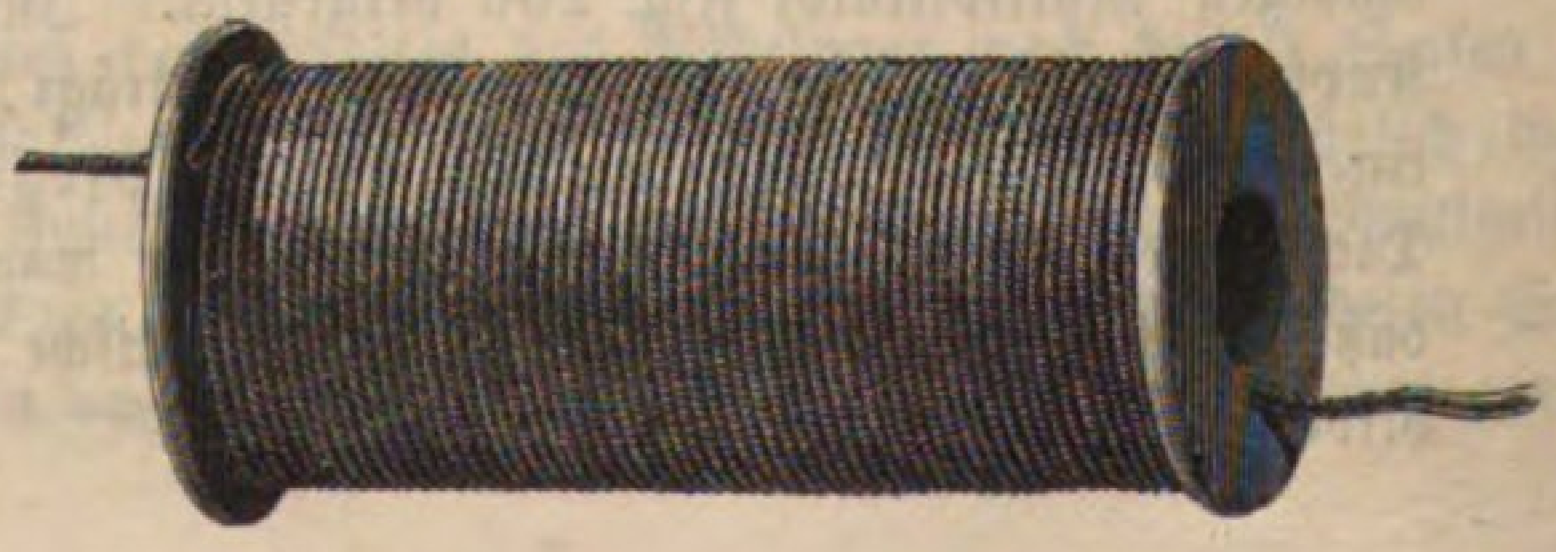
Die Ablenkungen des Spiegels werden wie beim Magnetometer durch ein Fernrohr abgelesen, welches sammt der Scala in der Verlängerung der Axe, der Hülse und der Spiralen in einem Abstande von ungefähr 2 Metern aufgestellt ist.

Wenn es nöthig ist, dem Instrumente eine möglichste Empfindlichkeit zu geben, kann man durch einen Magnetstab die richtende Kraft, welche der Erdmagnetismus auf den Stahlspiegel ausübt, beliebig schwächen, wie dies bereits in Paragraph 10 erörtert wurde.

113 **Magnetisirung des weichen Eisens durch den Strom.** Der elektrische Strom wirkt nicht allein richtend auf den freien Magnetismus, sondern er ist auch im Stande, die noch verbundenen magnetischen Flüssigkeiten zu trennen, d. h. er wirkt auch magnetisirend auf weiches Eisen und Stahl, was sich schon dadurch zeigt, daß ein von einem kräftigen Strom durchflossener Leitungsdraht Eisenfeile anzieht. — Um einen Eisenstab zu magnetisiren, muß man den Strom mehrfach um denselben herumführen, was dadurch geschieht, daß man den mit Seide oder Wolle übersponnenen Leitungsdraht spiralförmig um das Eisen herumwindet. Statt die Drahtwindungen direct auf dem Eisen anzubringen, ist es aber zweckmäßiger, den Draht auf eine Spule von Holz (damit man die Spirale auch zu Inductionsversuchen anwenden kann) aufzuwinden und den zu magnetisirenden Eisenstab in die Höhlung derselben hineinzuschieben.

Fig. 268 stellt eine solche Magnetisirungsspirale dar. Man hat deren von sehr verschiedenen Größen und Drahtdimensionen. Für sehr kräftige Wir-

Fig. 268.



kungen werden Magnetisirungsspiralen angewandt, welche aus 800 bis 1000 Windungen eines $1/2$ bis 1 Linie dicken Kupferdrahtes bestehen, die natürlich in mehreren Lagen über einander liegen.

Zu vielen Versuchen ist es bequem, die Spirale auf ein Stativ zu legen, wie man es Fig. 269 sieht.

Schiebt man nun einen Eisenstab in eine solche Spirale hinein, so wird er magnetisch, sobald ein elektrischer Strom die Spirale durchläuft. Ragen die Enden des Eisenstabes aus der Spirale hervor, so kann man Eisenstücke an dieselben anhängen, welche aber sogleich wieder abfallen, sobald der Strom unterbrochen wird, welcher den Draht durchläuft, weil das weiche Eisen nur so lange magnetisch bleibt, als es dem magnetisirenden Einfluß ausgesetzt ist.

Was die Polarität der beiden Enden des Eisenstabes betrifft, so ist dieselbe nach den Bemerkungen auf Seite 276 leicht zu bestimmen; dasjenige Ende, welches, dem Beschauer zugewendet, vom positiven Pole in der Richtung umkreist erscheint, in welcher sich der Zeiger einer Uhr dreht, ist der Südpol, derjenige Pol, welcher sich nach Süden richten würde, wenn der Elektromagnet (so nennt man nämlich Eisenstäbe, welche durch den Einfluß des galvanischen Stromes in temporäre Magneten verwandelt sind) sich frei in der Horizontalebene drehen könnte.

Fig. 270 dient, um das Gesetz der Polarität zu erläutern.

Fig. 269.

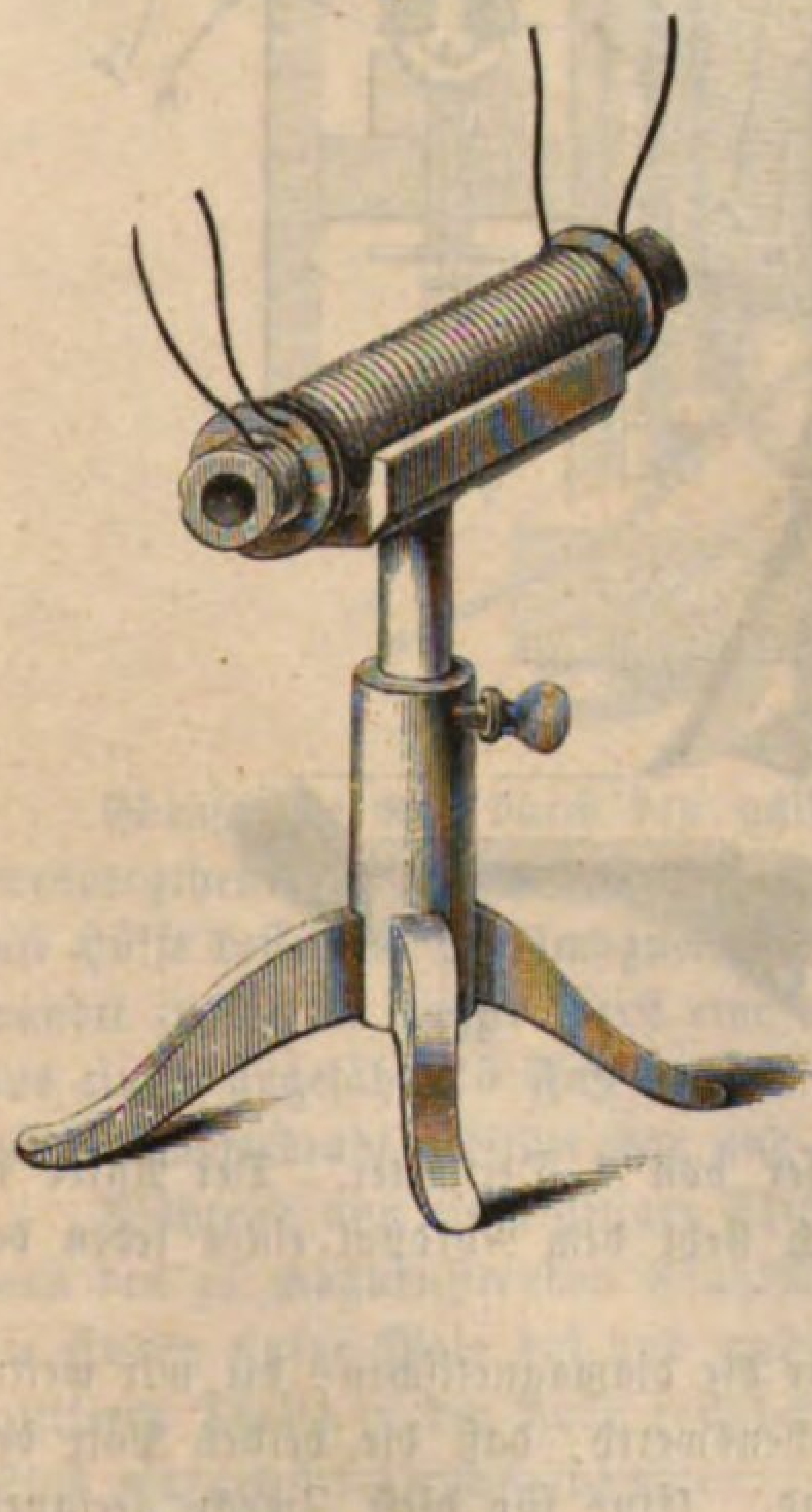


Fig. 270.

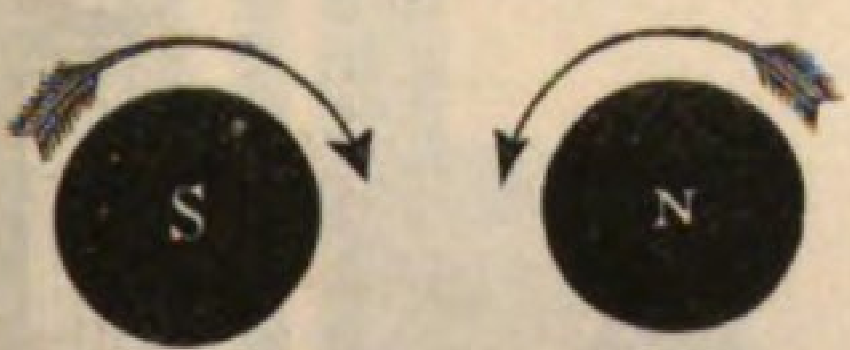
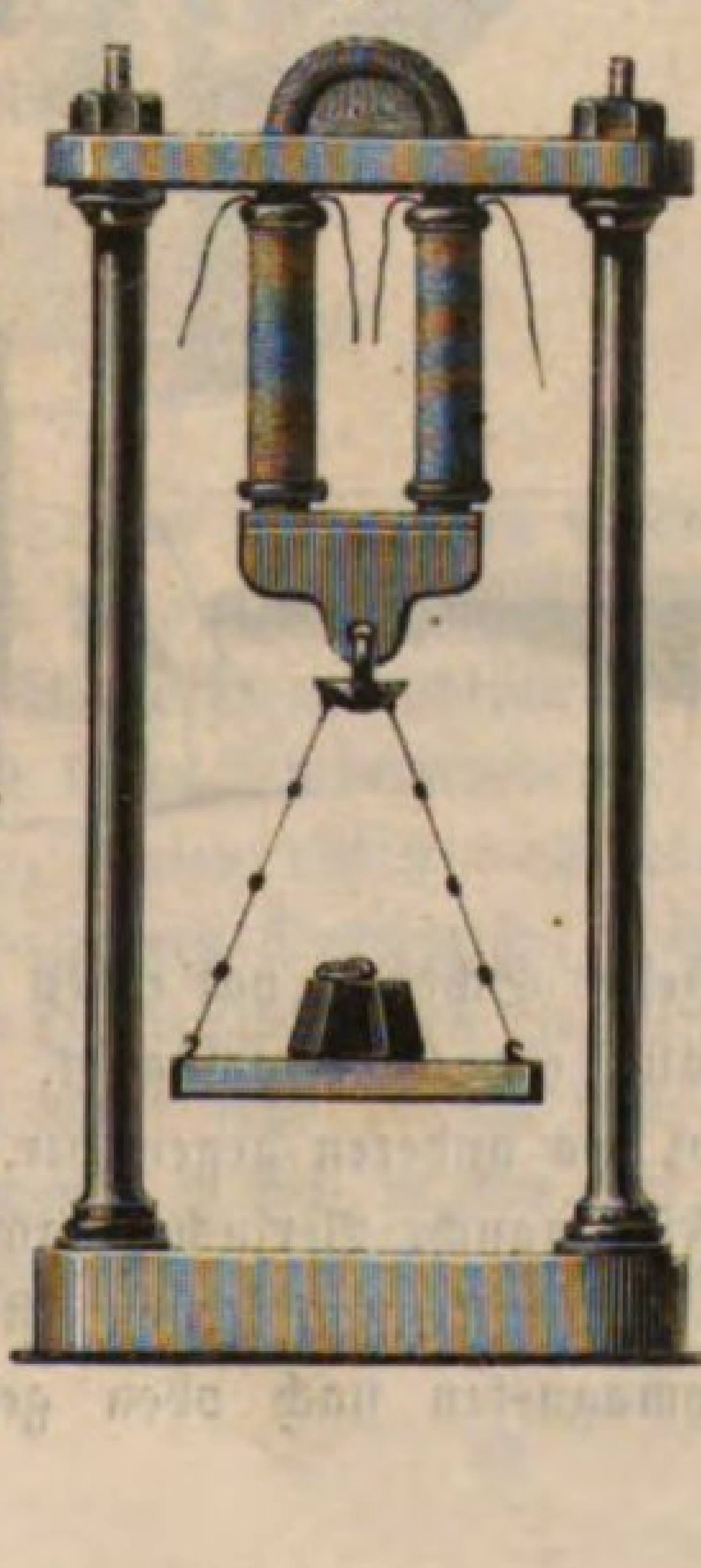


Fig. 271.



$\frac{1}{10}$

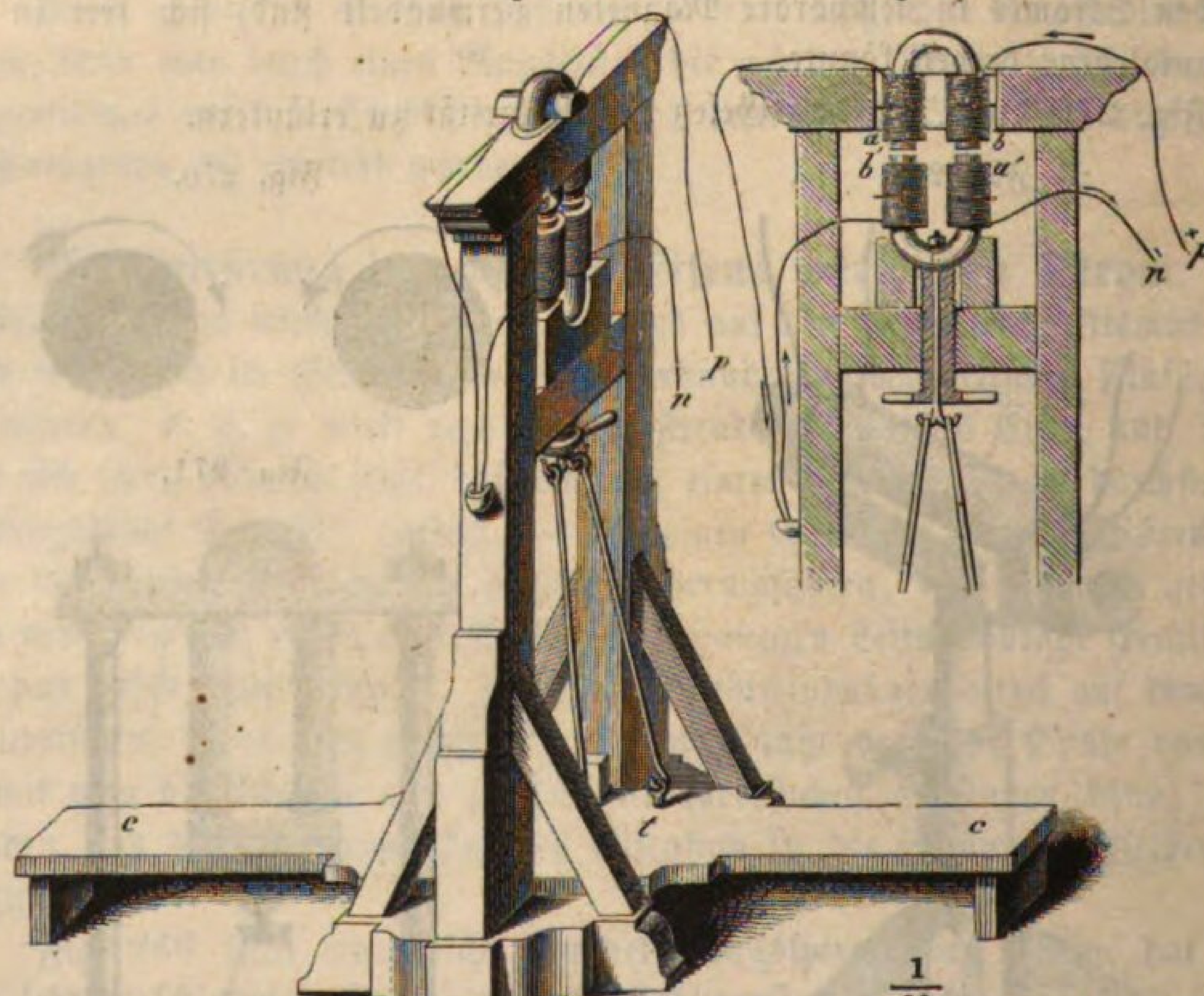
Wie den Stahlmagneten, so giebt man auch den Elektromagneten eine Uförmige Gestalt, wenn man eine große Tragkraft erzielen will. Um die Gesetze der Tragkraft solcher Elektromagnete zu untersuchen, wendet man am zweckmäßigsten kleinere Eisen an. Fig. 271 (a. vor. S.) stellt eine zweckmäßige Aufstellungsart kleinerer Uförmiger Elektromagnete ungefähr in $^1/_{10}$ der natürlichen Größe dar.

Auf die geradlinigen Schenkel sind die Magnetisirungsspiralen aufgeschoben, so daß man sie wegnehmen und auch zu anderen Zwecken benutzen kann, was auch für größere Elektromagnete sehr zu empfehlen ist.

Ein solcher Elektromagnet von 1 Centimeter Durchmesser erlangt eine Tragkraft von 20 Pfund, wenn auf jeden Schenkel eine Spirale von ungefähr 250 Windungen aufgeschoben ist und durch diese ein Strom geht, dessen Stärke = 17 ist.

Sollen die Elektromagnete eine größere Tragkraft haben, so kommt es vor Allem darauf an, ihre Dimensionen zu vergrößern. Fig. 272 und 273 stellen einen Elektromagneten dar, welcher über 2000 Pfund zu tragen im Stande

Fig. 272. Fig. 273.



ist. Jeder Schenkel hat einen Durchmesser von 1 Decimeter. Der Anker ist gleichfalls ein Elektromagnet. Natürlich steht dem Nordpol eines jeden der Südpol des anderen gegenüber.

Für manche Versuche, namentlich für die diamagnetischen, die wir weiter unten werden kennen lernen, ist es wünschenswerth, daß die beiden Pole des Elektromagneten nach oben gerichtet sind. Eine für diese Zwecke geeignete

Aufstellung des Elektromagneten ist Fig. 275, ungefähr in $1/_5$ der natürlichen Größe dargestellt.

Um die Tragkraft dieses Elektromagneten zu prüfen, setzt man auf die Pole einen Anker von der Form Fig. 274; in das Ohr desselben wird ein eiserner Hebel eingesetzt, dessen Schneide auf der Säule *a* ruht; am anderen Ende des Hebels werden entsprechende Gewichte angehängt. Die Säule *b* dient, um den Hebel aufzuhalten, wenn er abgerissen wird.

Fig. 274.

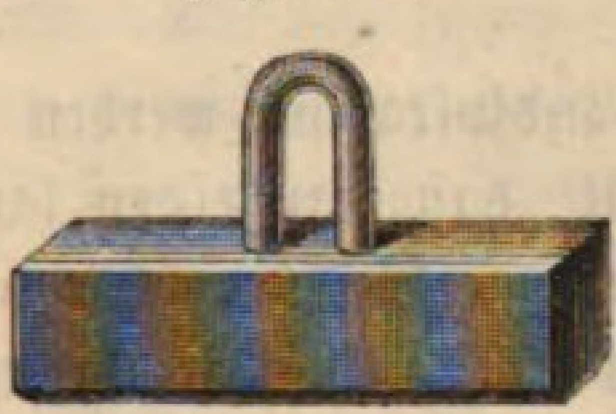
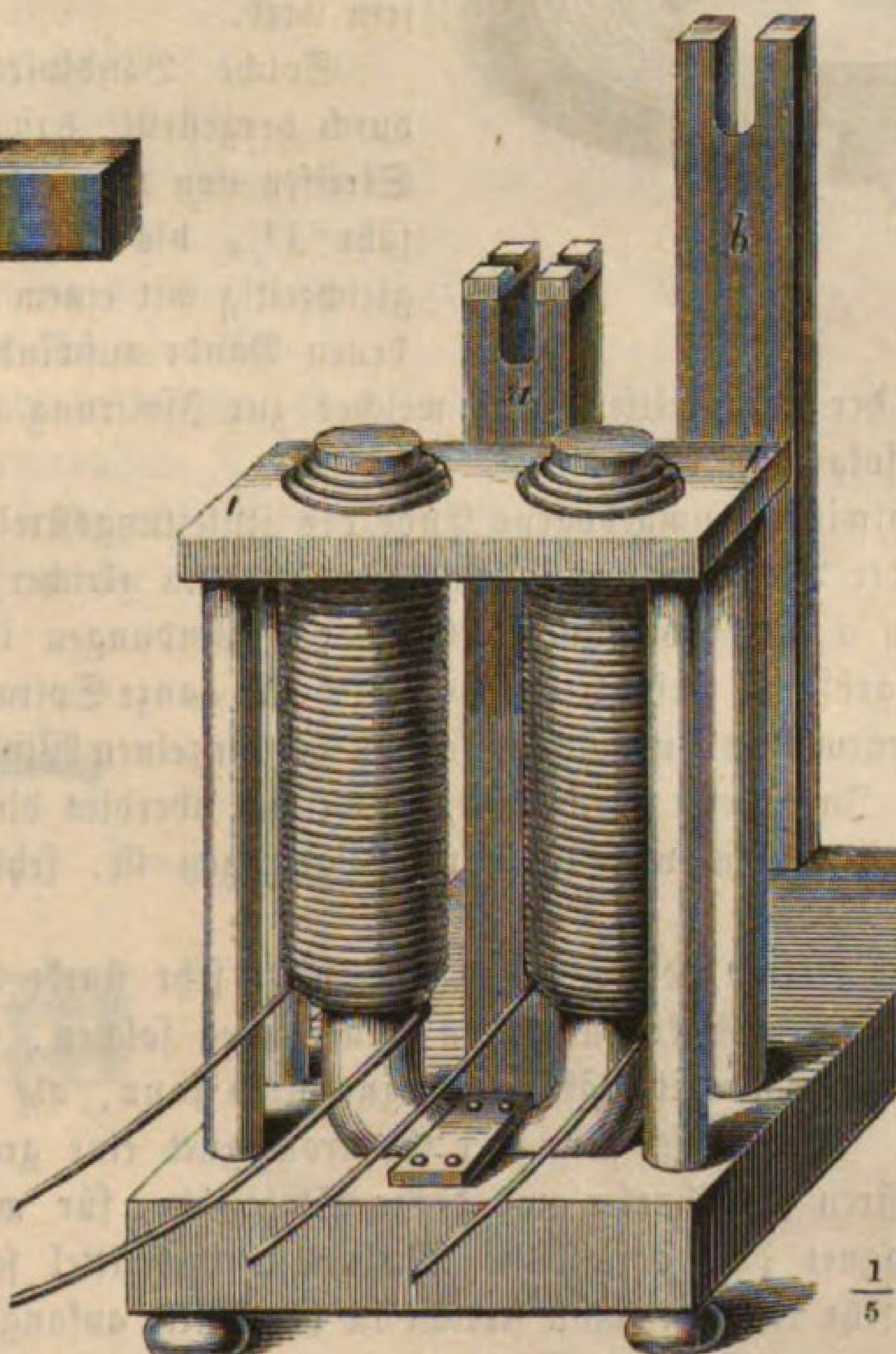


Fig. 275.



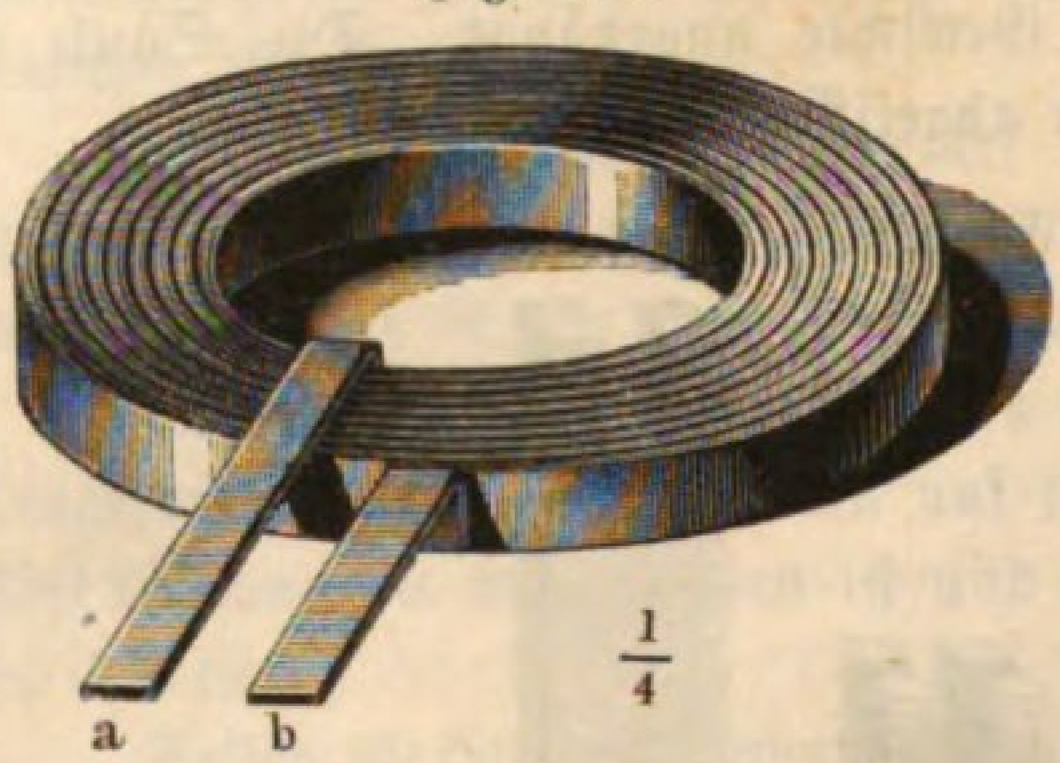
Ebenso wie man durch den galvanischen Strom im weichen Eisen einen vorübergehenden kräftigen Magnetismus erzeugen kann, ist man auch im Stande, mit Hülfe desselben Stahlmagnete von großer Stärke hervorzubringen. Elias wandte zu diesem Zwecke zuerst eine nur 1 Zoll kurze Drahtspirale an, welche aus einem ungefähr 25 Fuß langen, 1 bis $1^1/_2$ Linien dicken wohl übersponnenen Kupferdraht gebildet war und $1^1/_2$ Zoll inneren Durchmesser hatte.

Während nun ein kräftiger Strom in den Drahtwindungen circulirt, steckt man den zu magnetisirenden Stahlstab in die Rolle und bewegt ihn bis an die Enden einige Male auf und nieder, und wenn er sich wieder mit seinem mittleren Theile in der Rolle befindet, wird die Kette geöffnet und dann der Stab magnetisirt herausgenommen.

Es ist gut, den Stahlstab oben und unten mit einem Stück weichen Eisen und, wenn der zu magnetisirende Stab hufeisenförmig gebogen ist, ihn während der Operation mit einem Anker zu versehen.

Statt einer Drahtspirale kann man auch eine Bandspirale anwenden, deren Einrichtung durch Fig. 276 erläutert wird. Eine solche Spirale ist auch noch zu vielen anderen Versuchen brauchbar, von welchen später die Rede sein wird.

Fig. 276.



Solche Bandspiralen werden dadurch hergestellt, daß man einen langen Streifen von Kupferblech, welcher ungefähr $1\frac{1}{2}$ bis 2 Centimeter breit ist, gleichzeitig mit einem wollenen oder seidenen Bande aufwindet, welches etwas breiter ist als der Blechstreifen, und welches zur Isolirung einer jeden Blechlage von der folgenden dient.

Das rechtwinklig umgebogene Ende des Zuleitungsstreifens *b* ist an das äußere Ende der Blechwindungen angelöthet, und in gleicher Weise ist der Zuleitungsstreifen *a* mit dem inneren Ende der Windungen in Verbindung gebracht. Der größeren Festigkeit wegen wird die ganze Spirale noch mit wollenem oder seidenem Band umwickelt, so daß die einzelnen Windungen nicht mehr sichtbar sind. In unserer Zeichnung, in welcher überdies die Dicke des Blechs der Deutlichkeit wegen viel zu stark aufgetragen ist, fehlt diese Bandumwickelung.

Frick hat gezeigt, daß, wenn man nicht sehr starke Ströme anwendet, man mit Hülfe eines Elektromagneten, etwa eines solchen, wie der Fig. 275 abgebildete, doch noch weit kräftiger magnetisiren kann, als mit der Elias'schen Spirale. Namentlich zeigt der Elektromagnet eine große Ueberlegenheit beim Magnetisiren sehr harter und dicker Stahlstäbe, für welche in der That der Elektromagnet das geeignetste Magnetisirungsmittel sein dürfte. Das Verfahren ist sehr einfach: Man streicht in der Mitte anfangend mit der einen Hälfte des zu magnetisirenden Stabes oder Hufeisens 10- bis 20mal über den Nordpol, mit der anderen Hälfte eben so oft über den Südpol des Elektromagneten.

Natürlich wird die Hälfte der Stahllamelle der Nordpol, welche auf dem Südpol des Elektromagneten gestrichen wurde.

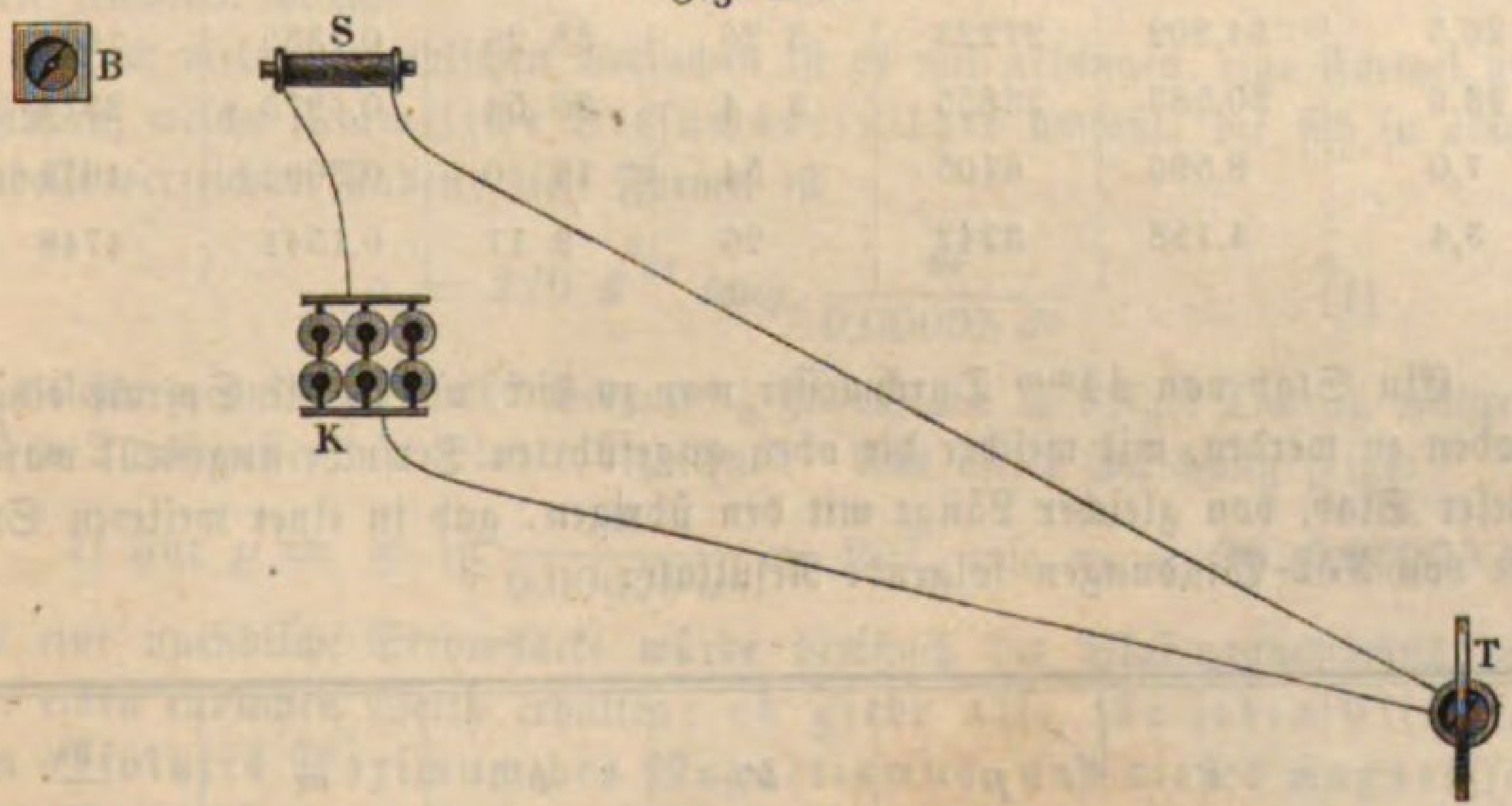
114 **Gesetze des Elektromagnetismus.** Die magnetisirende Kraft einer Drahtspirale, wie wir sie oben kennen gelernt haben, hängt offenbar ab von der Anzahl ihrer Drahtwindungen und von der Stärke des Stromes, welcher dieselben durchläuft; wir wollen deshalb geradezu das Product, welches man erhält, wenn man die Stromstärke mit der Windungszahl multiplicirt, die magnetisirende Kraft der Spirale nennen.

Lenz und Jacobi haben durch Versuche bewiesen, daß die Weite der Windungen ohne Einfluß auf die Stärke des erzielten Magnetismus in Eisenstäben ist, vorausgesetzt, daß die Enden des Eisenstabes weit genug auf beiden Seiten aus der Spirale hervorragen. Nur wenn das Eisen nicht aus den Windungen hervorragt, ist die Wirkung der engen Windungen etwas größer als die der weiten.

Dieselben Gelehrten haben gefunden, daß der Magnetismus eines Eisenstabes, welcher in einer Magnetisirungsspirale steckt, in demselben Verhältniß wächst, wie der Strom, welcher die Spirale durchläuft. Sie wandten bei ihren Versuchen ziemlich dicke Stäbe und verhältnißmäßig schwache Ströme an. Für dünnere Stäbe aber und stärkere Ströme findet die Proportionalität zwischen Stromstärke und Magnetismus nicht mehr Statt, wie ich durch eine große Reihe von Versuchen bewiesen habe.

Die Anordnung der Versuche übersieht man aus Fig. 277. Der Strom wurde durch sechs Bunsen'sche Becher erzeugt, von denen je drei zu einem Plattenpaare combinirt waren; er ging durch die Magnetisirungsspirale S und durch die Tangentenbussole T, welche so weit abstand (50 Fuß), daß der Magnetismus der in S eingeschobenen Eisenstäbe keinen merklichen Einfluß auf die Nadel in T ausüben konnte.

Fig. 277.



Die Magnetisirungsspirale S stand rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian; zur Messung des Magnetismus der in S eingeschobenen Eisenstäbe diente eine 88 Centimeter entfernte östlich von ihm aufgestellte Bussole B.

Ich führe hier nur diejenigen Versuche an, welche mit Eisenstäben von 560mm Länge angestellt wurden, die in eine Spirale von 780 Windungen eingeschoben waren. Sie ragten an jeder Seite noch 15 Millimeter aus der Spirale hervor. Die drei Eisenstäbe, mit welchen diese Versuche angestellt wurden, hatten folgende Durchmesser:

Nro. 1 . . . . . . 9 Millimeter.
Nro. 2 . . . . . . 12 »
Nro. 3 . . . . . . 15 »

Folgende Tabelle enthält die Resultate der Versuche:

t	s	p	b'	b	m	$\frac{m}{p}$
			Stab Nr. 1.			
27°,0	35,665	27819	3°31′	19° 8′	0,2864	1027
23,5	30,436	23740	3 4	18 40	0,2842	1197
7,0	8,596	6705	54	12 36	0,2078	3090
3,2	3,913	3052	24	7 12	0,1193	3909
			Stab Nr. 2.			
26,6	35,423	27638	3 28	29 42	0,5098	1844
14,0	17,451	13612	1 49	24 32	0,4247	3120
7,0	8,596	6705	54	17 17	0,2954	4108
3,4	4,158	3243	26	8 19	0,1386	4270
			Stab Nr. 3.			
26,5	34,902	27223	3 26	38 26	0,7335	2694
23,6	30,583	23855	3 4	36 54	0,6975	2974
7,0	8,596	6705	54	18 0	0,3092	4611
3,4	4,158	3242	26	9 11	0,1541	4748

Ein Stab von 44mm Durchmesser war zu dick, um in die Spirale eingeschoben zu werden, mit welcher die oben angeführten Versuche angestellt waren. Dieser Stab, von gleicher Länge mit den übrigen, gab in einer weiteren Spirale von 372 Windungen folgende Resultate:

t	s	p	b'	b	m	$\frac{m}{p}$
33°	45,633	16975	2°52′	54°43′	1,3631	8041
20,2	25,753	9580	1 45	39 22	0,7898	8244
12,0	14,832	5536	1 2	25 44	0,4640	8381
6,5	7,973	2946	34	14 30	0,2487	8102

Die mit t überschriebene Columne enthält die an der Tangentenbussole abgelesene Ablenkung; die mit s überschriebene enthält die entsprechende Stromstärke, welche man erhält, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels mit 70 multiplicirt. Die magnetisirende Kraft p, welche in der folgenden Co-

lumne steht, ist durch Multiplication der Stromstärke mit der Anzahl der von dem Strome durchlaufenen Windungen erhalten worden. Die mit *b'* überschriebene Columne giebt die Ablenkung an, welche die Spirale für sich allein an der Bussole *B*, Fig. 277, hervorbringt, während man unter *b* die von dem magnetisirten Eisenstabe und der Spirale zugleich hervorgebrachte Ablenkung dieser Bussole findet. *tang. b* — *tang. b'* giebt das Maaß für den Stabmagnetismus, wie man ihn in der mit *m* überschriebenen Columne findet. Die letzte Columne endlich enthält die Werthe des Quotienten $\frac{m}{p}$, und zwar, um die vielen Decimalstellen zu vermeiden, mit 100000000 multiplicirt.

Wäre das Gesetz von Lenz allgemein wahr, so müßte für einen und denselben Stab der Werth von $\frac{m}{p}$ constant bleiben; die Unterschiede sind aber so bedeutend, daß an eine Proportionalität des Stabmagnetismus und der Stromstärke nicht mehr zu denken ist. Im Allgemeinen sieht man, daß für größere Werthe von p der Werth von $\frac{m}{p}$ kleiner ausfällt, daß für größere magnetisirende Kräfte, also caeteris paribus für größere Stromstärke, der Stabmagnetismus weit geringer ausfällt, als man nach dem Gesetze der Proportionalität hätte erwarten sollen.

Nach vielen vergeblichen Versuchen ist es mir gelungen, eine Formel aufzufinden, welche sämmtliche Versuchsresultate umfaßt, die sich in obiger Tabelle verzeichnet finden; diese Formel ist

$$p = 220\, d^{3/2}\, tang. \frac{m}{0{,}00005\, d^2} \quad . \quad . \quad . \quad (1),$$

in welcher p und m dieselbe Bedeutung haben, wie in obiger Tabelle, während d den Durchmesser des Stabes bezeichnet. Aus dieser Gleichung folgt:

1) Für $p = \infty$ ist $\frac{m}{0{,}00005\, d^2} = 90^0$, also $m = 90 . 0{,}00005\, d^2$; für eine unendliche Stromstärke würde demnach der Stabmagnetismus doch nur einen endlichen Werth erhalten; es giebt also für jeden Eisenstab ein absolutes Maximum des Magnetismus, und dieses magnetische Maximum ist dem Quadrate des Durchmessers, also dem Querschnitte des Stabes, proportional.

2) Wenn der Magnetismus verschiedener Stäbe denselben Theil ihres absoluten magnetischen Maximums erreichen soll, so muß man für alle den Werth von $\frac{m}{0{,}00005\, d^2}$ gleich setzen; alsdann aber verhalten sich die entsprechenden Werthe von p wie $d^{3/2}$; d. h. um in verschieden dicken Eisenstäben denselben aliquoten Theil ihres magnetischen Maximums zu erzeugen, muß man Ströme anwenden, die sich verhalten wie die Quadratwurzel aus der dritten Potenz der Halbmesser. Wenn

also z. B. eine bestimmte Stromstärke in einem Eisenstab einen Magnetismus erzeugt, welcher die Hälfte des absoluten magnetischen Maximums beträgt, so wird man, um in einem zweimal dickeren Stabe gleichfalls $1/2$ des absoluten magnetischen Maximums zu erreichen, caeteris paribus einen $\sqrt{2^3}$, also einen 2,83mal stärkeren Strom nöthig haben.

3) So lange $\frac{m}{0{,}00005\, d^2}$ nur einem kleinen Winkelwerthe entspricht, sind p und m ziemlich nahe proportional und man kann ohne merklichen Fehler

$$p = a \,.\, d^{3/2} \frac{m}{d^2}$$

setzen, wo a einen leicht zu ermittelnden constanten Factor bezeichnet; daraus ergiebt sich aber

$$m = \frac{p \cdot \sqrt{d}}{a};$$

so weit man also den Stabmagnetismus der Stromstärke proportional setzen kann, ist der durch gleiche Ströme in verschiedenen Eisenstäben erzeugte Magnetismus der Quadratwurzel aus dem Stabdurchmesser proportional.

Um das Verhältniß anschaulicher zu machen, nach welchem der Stabmagnetismus wächst, wenn die Stromstärke zunimmt, ist es nach der Gleichung (1) in Fig. 278 für unsere vier Stäbe graphisch dargestellt; die Abscissen sind der magnetisirenden Kraft, die Ordinaten sind dem Stabmagnetismus proportional aufgetragen. Die unterste Curve entspricht dem dünnsten, die oberste dem dicksten Eisenstabe. Vergleicht man diese Figur mit den Zahlen der obigen Tabelle, so ist wohl keine weitere Erläuterung zu ihrem Verständniß nöthig.

Wäre das Lenz'sche Gesetz allgemein gültig, so müßten diese vier Curven gerade Linien sein, was nur bei der Curve Nr. IV annähernd der Fall ist. Der Anblick der Fig. 278 schon zeigt uns, daß wir mit den Stromstärken, mit denen wir operirten, für den dünnsten Stab dem absoluten magnetischen Maximum schon sehr nahe gekommen sind, indem die Curve I auf ihrer rechten Seite schon einen fast horizontalen Lauf hat.

Eine zweite Versuchsreihe, bei welcher die Bussole B durch ein Magnetometer ersetzt worden war, gab gleiches Resultat, d. h. die zusammengehörigen Stromstärken und Magnetometerablenkungen paßten gleichfalls in die Formel

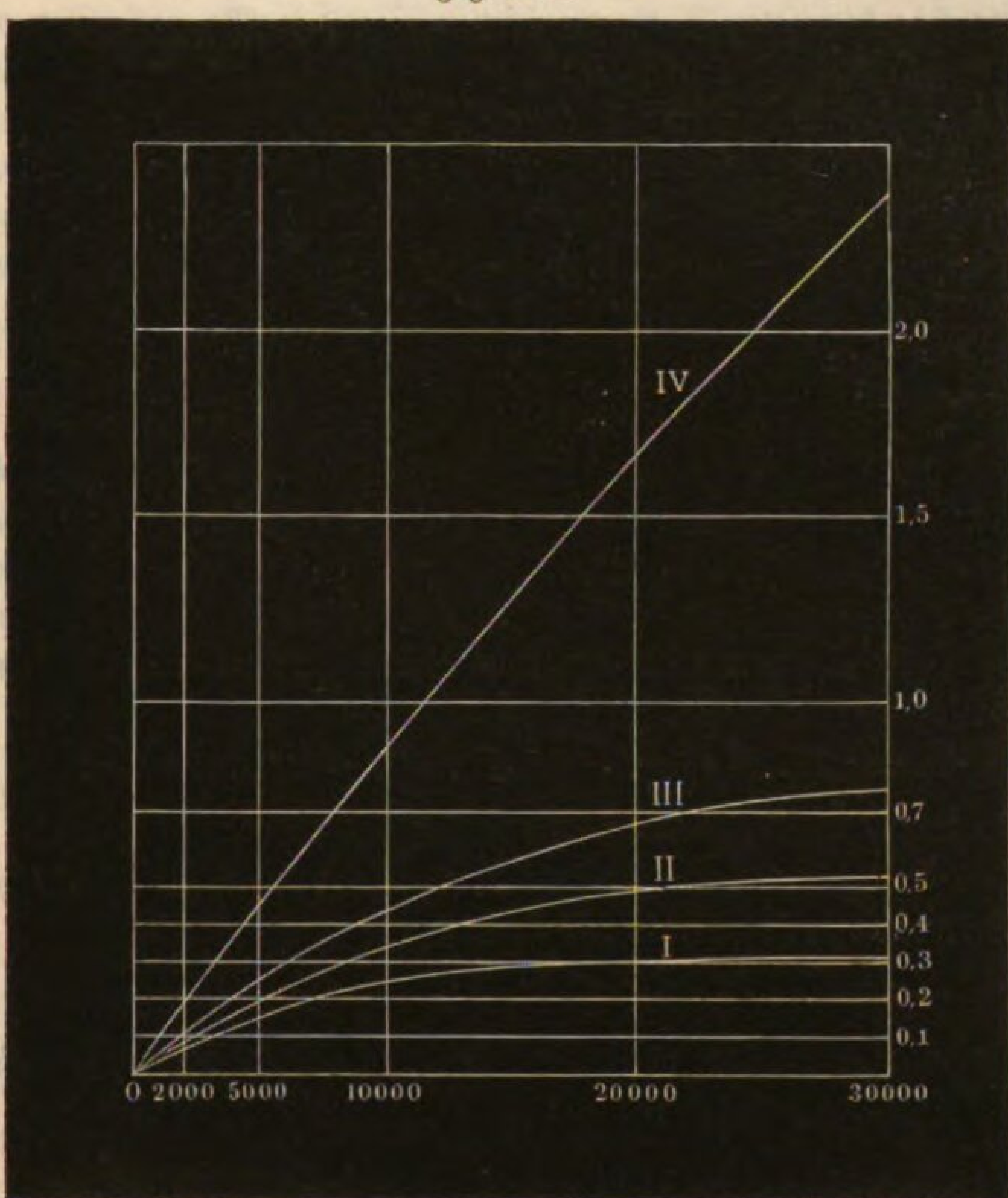
$$t = a d^{3/2} \operatorname{tang.} \frac{m}{b d^2},$$

wo t die Stromstärke und m den durch die Ablenkung des Magnetometers gemessenen Magnetismus des Eisenstabes in der Spirale bezeichnet; a und b sind constante Factoren, d aber bezeichnet den Durchmesser des Stabes.

Welche Zahlenwerthe für a und b zu setzen sind, hängt davon ab, welche Einheiten man für t und m wählt. Der Factor a ändert sich mit der Einheit, die man für die Stromstärke annimmt, b dagegen ist abhängig von der Einheit, welche man für das magnetische Moment des Eisenstabes wählt.

Für die Versuche, welche mit den schon erwähnten 560 Centimeter langen, in die Spirale von 780 Windungen eingeschobenen Stäben angestellt wurden

Fig. 278.



(die Spirale war im magnetischen Meridian des Magnetometers und zwar nördlich von demselben, also in der Fig. 50 auf Seite 50 entsprechenden Lage aufgestellt), ergab sich

$$t = 0{,}0042\, d^{3/2}\ tang.\ \frac{m}{0{,}0015\, d^2} \quad . \quad . \quad . \quad (a),$$

wenn für t die Tangente der an der Tangentenbussole abgelesenen Winkel, für m aber die entsprechenden an der Magnetometerscala abgelesenen Ablenkungen gesetzt werden (die Centimeter sind als Ganze, die Millimeter als Zehntel gelesen).

Diese in der letzten Gleichung vorkommenden Werthe der Factoren a und b sind aber noch ganz und gar von der Individualität der Instrumente und des Versuchs behaftet, sie müssen von derselben befreit werden.

Die Reduction des Factors a auf chemisches Maaß ist sehr einfach; man hat nämlich nur den obigen Zahlenwerth von a mit dem Reductionsfactor der Tangentenbussole (für unseren Fall 70) und alsdann noch mit der Anzahl der Windungen zu multipliciren, durch welche der Strom um das Eisen herumge-

führt wird. Wir haben also $a = 0{,}0042 \,.\, nq$, wenn n die Anzahl der Windungen und q den Reductionsfactor der Tangentenbussole bezeichnet.

Anstatt m ist das entsprechende magnetische Moment des Stabes in der oben (Seite 61) definirten Einheit zu setzen; um den Magnetismus des Stabes mit der Schwerkraft zu vergleichen, und deshalb muß nun auch der Factor b eine entsprechende Umformung erleiden.

Ein von der Umdrehungsaxe des Magnetometers, an welcher auch der Spiegel angebracht ist, auf die Scala gefälltes Perpendikel war 2,08 Meter lang, folglich ist die Tangente des Ablenkungswinkels, welchem 1 Millimeter der Scala entspricht, gleich $\frac{1}{4160} = 0{,}00024038$. Die Tangente des Ablenkungswinkels, welche einem Centimeter, also der Einheit entspricht, in welcher unsere Werthe von m ausgedrückt sind, ist demnach mit 0,0024038 zu multipliciren, um die trigonometrische Tangente des Ablenkungswinkels zu erhalten, oder es ist

$$tang.\ v = m \,.\, 0{,}0024038.$$

Das auf die Schwere reducirte magnetische Moment eines Magnetstabes ist aber (Seite 61)

$$M = T \,.\, r^3\ tang.\ v = T \,.\, r^3 \,.\, m \,.\, 0{,}0024038.$$

Setzen wir $T = 7{,}03$ (den Werth für das Beobachtungslocal zu Freiburg) und $r = 2{,}17$ (da die Spirale 2,17 Meter von der Umdrehungsaxe des Magnetometers entfernt war), so kommt

$$M = 0{,}1722\ m.$$

Will man aber M statt m in die Gleichung (a) einführen, so müssen wir den Nenner des Bruches $\frac{m}{0{,}0015\ d^2}$ in gleichem Verhältniß vergrößern, wie den Zähler, wir müssen also den Nenner gleichfalls mit 0,1722 multipliciren, oder mit anderen Worten, wir können statt $\frac{m}{0{,}0015\ d^2}$ setzen $\frac{M}{0{,}000258\ d^2}$. Nach Einführung dieser neuen Einheiten geht also die Gleichung (a) über in

$$P = 0{,}0042\, n \,.\, q d^{3/2}\ tang. \frac{M}{0{,}000258\ d^2} \quad \ldots\ldots \quad \text{(b)},$$

wo P die mit der Windungszahl multiplicirte, nach chemischem Maaß gemessene Stromstärke bezeichnet.

Untersuchen wir zunächst, welches das magnetische Moment eines bis zu seinem Maximum magnetisirten Eisenstabes (von 56 Centimeter Länge) ist. Der größte Werth, den $\frac{M}{0{,}000258\ d^2}$ erlangen kann, ist 90^0; daraus folgt aber als Maximum von M der Werth $90 . 0{,}000258\, d^2$; die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus den bis zum Maximum magnetisirten Stab zu drehen strebt, wenn er rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht, ist aber

$$TM = 7{,}03 : 90 \,.\, 0{,}000258\, d^2.$$

Für einen 10 Millimeter dicken Eisenstab der gegebenen Länge ist also

$$TM = 16,32,$$

d. h. hätte ein 56 Centimeter langer, 10^{mm} dicker Eisenstab das Maximum des Magnetismus erlangt, dessen er überhaupt fähig ist, so würde die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus ihn zu drehen strebt, wenn er rechtwinkelig auf dem magnetischen Meridian steht, gleich sein dem Druck von 16,32 Grammen, welche an einen Hebelarm von 1 Centimeter angreifen.

Nach der Gleichung (b) kann man auch leicht berechnen, welche Stromstärke nöthig ist, um einen Eisenstab von 56 Centimeter Länge in der besprochenen Spirale von 780 Windungen bis zu einem aliquoten Theile seines absoluten Maximums zu magnetisiren. Man hat nur $\frac{M}{0,000258\ d^2}$ gleich 18^0, 36^0, 54^0 u. s. w. zu setzen, je nachdem man die Stromstärke ermitteln will, welche nöthig ist, um $^2/_{10}$, $^4/_{10}$, $^6/_{10}$ u. s. w. des absoluten Maximums zu erhalten.

Auf diese Weise ist die folgende Tabelle berechnet:

Durchmesser der Eisenstäbe.	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9
5^{mm}	1,1	2,4	4,5	10,0	20,7
10	3,0	6,7	12,8	28,6	58,7
20	8,5	19,1	36,2	80,9	166,0
30	15,7	35,9	66,5	148,6	304,9
50	33,8	75,5	143,0	319,8	656,2

Die erste Verticalreihe enthält die Durchmesser der Stäbe, in den folgenden Verticalreihen findet man dann die Stromstärken angegeben, welche nöthig sind, um die Eisenstäbe bis zu dem aliquoten Theil des absoluten Maximums zu magnetisiren, welch letzterer am Kopf einer jeden Verticalreihe steht. Um einen 5^{mm} dicken Eisenstab auf 0,2 seines absoluten Maximums zu bringen, bedarf man also nur die geringe Stromstärke 1,1, während man die Stromstärke 33,8 anwenden muß, um einen Stab von 50 Millimeter Durchmesser bis zu demselben Grade zu magnetisiren. Mit der Stromstärke 20,7 kann man den 5^{mm} dicken Eisenstab schon bis zu 0,9 seines absoluten Maximums magnetisiren; um aber das Gleiche bei dem 50 Millimeter dicken zu erreichen, müßte man schon die ungeheure Stromstärke 656 anwenden.

Die Gleichung (b) und folglich auch die nach ihr berechneten Zahlen der vorigen Tabelle beziehen sich aber nur auf 56 Centimeter lange Stäbe, die sich in einer 54 Centimeter langen Spirale befinden.

Werden die Längendimensionen der Stäbe und der Spirale geändert, so ändern sich auch die Werthe der Constanten der Gleichung (b). Für eine 30

Centimeter lange Spirale, in welche 33 Centimeter lange Stäbe eingeschoben waren, ergab sich die Gleichung

$$P = 0{,}016 \,.\, n \,.\, qd^{3/2}\ tang.\ \frac{M}{0{,}000185\ d^2}.$$

Wir sehen, daß der Factor von $d^{3/2}$ in einem etwas stärkeren, als dem umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Stablänge (33 und 56) gewachsen ist. — Nehmen wir an, daß dies wirklich der Fall sei, vorausgesetzt, daß die Länge der Spirale und der Stäbe stets in gleichem Verhältniß bleiben, so würde der Factor von $d^{3/2}$ nach den Versuchen mit den längeren Stäben stets $\frac{13{,}65}{l^2}$, nach den Versuchen mit den kürzeren $\frac{17{,}44}{l^2}$, im Mittel also $\frac{15{,}5}{l^2}$ sein.

Ebenso können wir den Factor b als erste Annäherung der Stablänge direct proportional annehmen, ihn also im Mittel $0{,}000005\,l$ setzen; man hätte also allgemein

$$P = \frac{15{,}5}{l^2}\ n \,.\, qd^{3/2}\ tang.\ \frac{M}{0{,}000005\ l\,d^2} \quad \ldots\ldots \quad \text{(c)}$$

wo l die in Centimetern ausgedrückte Stablänge bezeichnet.

Die Gleichung (c) kann freilich nur als eine erste Annäherung gelten, die aber doch in manchen Fällen erwünscht ist. Der Einfluß der Längendimensionen auf die constanten Factoren in Gleichung (a) ist überhaupt erst noch genauer zu untersuchen.

Es sei z. B. in eine 15 Centimeter lange Spirale von 200 Windungen ein 5mm dicker und 16,5 Centimeter langer Eisenstab eingeschoben; die Stärke des Stromes, welcher die Spirale durchläuft, sei 100, so haben wir nach Gleichung (c)

$$P = 100 \,.\, 200 = \frac{15{,}5}{16{,}5^2} 70 \,.\, 200 \,.\, 5^{3/2}\ tang.\, x;$$

daraus

$$tang.\, x = \frac{10 \,.\, 272}{7 \,.\, 15{,}5 \,.\, 11{,}2} = 2{,}238,$$

also x ungefähr 66°; der Eisenstab wird also unter diesen Umständen beinahe bis auf 0,7 seines absoluten Maximums magnetisirt werden.

Will man bloß zeigen, daß über gewisse Gränzen hinaus der Magnetismus eines Eisenstabes in einem langsameren Verhältniß wächst, als die Stärke des Stromes, welcher ihn umkreist, so ist dazu das folgende von Koosen angegebene Verfahren sehr zweckmäßig. Man stelle die Magnetisirungsspirale mit dem Eisenstab nahe bei der Tangentenbussole auf, und leite den Strom so durch die Spirale, daß der Magnetismus des Eisenstabes die Nadel in einer Richtung abzulenken strebt, welche der Richtung der Ablenkung entgegengesetzt ist, welche der den Ring der Tangentenbussole durchlaufende Strom für sich

zu erzwingen strebt. Bei geringerer Stromstärke wird nun die Spirale mit dem Stab in solche Entfernung gebracht, daß die Nadel auf dem Nullpunkte stehen bleibt. Wird nun der Strom verstärkt, so müßte die Nadel auf Null bleiben, wenn die Stärke des Elektromagneten in gleichem Verhältniß wächst wie die Stromstärke; bei dünnen Stäben, die von einer genügenden Anzahl von Windungen umgeben sind, sieht man aber bei Vermehrung der Stromstärke die Nadel alsbald in einer Richtung abweichen, welche ein Ueberwiegen der Wirkung des Stromes im Ringe der Bussole über die Wirkung des Elektromagneten andeutet.

Tragkraft der Elektromagnete. Die Tragkraft eines Elektromagneten ist keine so einfache Function der Dimensionen des Eisenkerns und der magnetisirenden Kraft der Spirale, wie es das magnetische Moment eines Eisenstabes ist; sie hängt noch auf eine keineswegs genügend erforschte Weise von der Masse und der Gestalt des Ankers ab. 115

Daß im Allgemeinen die Tragkraft mit der Masse des Ankers wachsen muß, ist klar.

Barral erhielt mit einem Elektromagneten, dessen Eisenkern 7,8 Kilogramme wog, bei gleicher Stromstärke folgende Resultate:

Gewicht des Ankers.	Tragkraft.
0,2 Kilogrm.	33 Kilogrm.
0,9 »	66 »
2,8 »	183 »
4,8 »	235 »
6,8 »	267 »
9,2 »	295 »

Die Tragkraft nähert sich also einem Maximum, welches nahezu erreicht wird, wenn die Masse des Ankers der Masse des Eisenkerns des Elektromagneten gleich ist.

Dub hat die Tragkraft eines einzelnen Poles an einem cylindrischen Elektromagneten bei cylindrischen Ankern untersucht und gefunden, daß bei gleichem Querschnitt der Anker die Tragkraft mit der Länge derselben zunimmt, jedoch nur bis zu einem bestimmten Maximum. Bei Ankern von 1 Zoll Durchmesser z. B. wird das Maximum der Tragkraft bei einer Länge von 21 Zoll erreicht; denn bei fernerer Vergrößerung der Länge fand keine Vermehrung der Tragkraft mehr Statt.

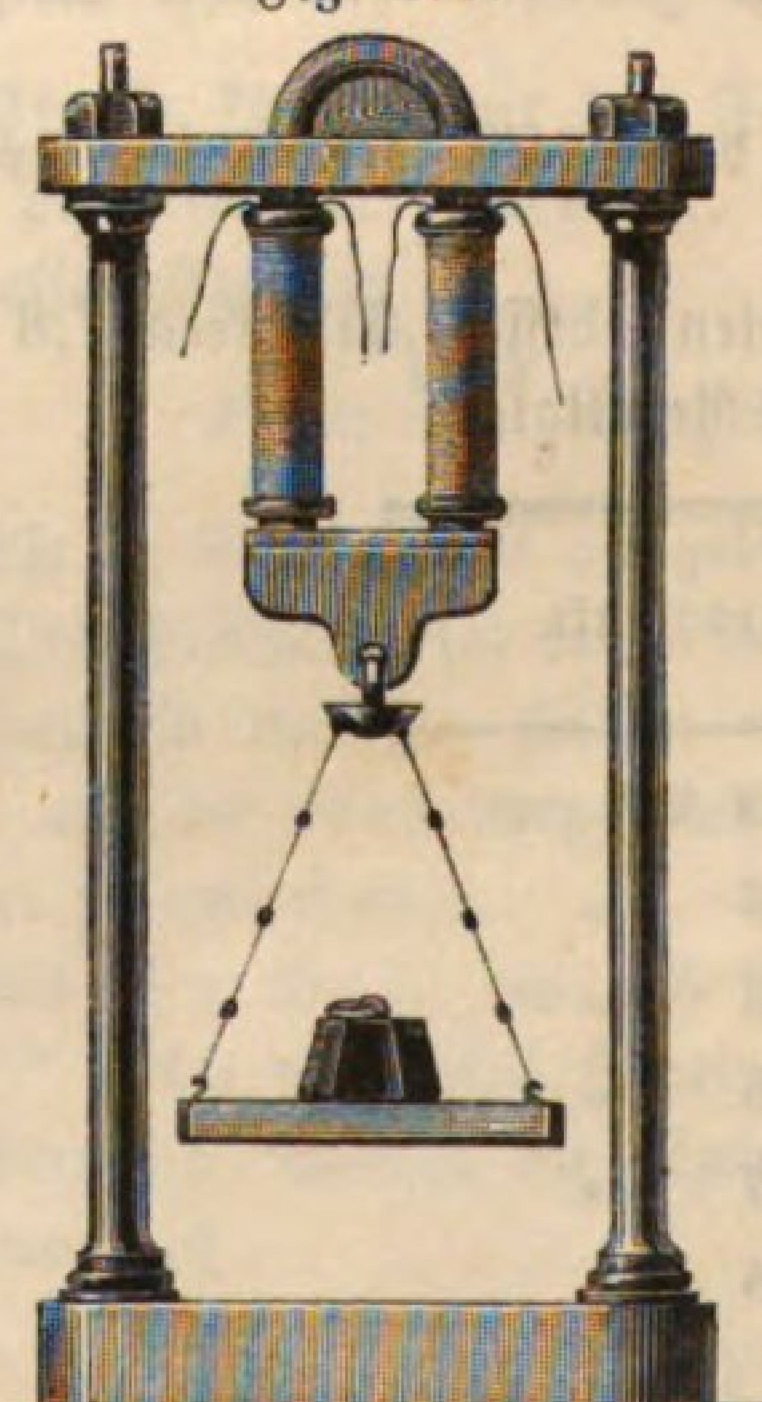
Dub's Versuche zeigen ferner, daß bei gleicher Stromstärke und gleicher Ankerlänge der dünnere Magnet oft mehr trägt als der dickere. In solchen Fällen bewirkt aber die Verkleinerung der Durchmesser nur deshalb eine Vermehrung der Tragkraft, weil sie mit einer Verkleinerung der Berührungsfläche

verbunden ist. So erhielt er z. B. mit einem Elektromagneten von 1 Zoll Durchmesser und 12 Zoll Länge mit verschiedenen 6 Zoll langen Ankern folgende Resultate:

Anker Nro. 1	ganz cylindrisch, $^1/_2$ Zoll Durchmesser	4,8 Pfund Tragkraft.
Anker Nro. 2	ganz cylindrisch, 1 Zoll Durchmesser	3,3 » »
Anker Nro. 3	1 Zoll Durchmesser, oben conisch verjüngt, so daß die Berührungsfläche $^1/_2$ Zoll Durchmesser hatte .	7,0 » »

Da mit wachsender Stromstärke die magnetische Erregung dünnerer Eisenkerne sich sehr bald einem Maximum nähert, so ist klar, daß auch die Tragkraft dünnerer Elektromagnete, seien sie nun gerade oder hufeisenförmig gekrümmt, sich rasch einem Maximum nähern muß, wie dies auch durch folgende mit dem Apparat Fig. 279 angestellte Versuche bestätigt wird.

Fig. 279.



Die geraden Schenkel des Uförmig gebogenen Eisens hatten eine Länge von 16,5 Centimetern und waren 6,5 Millimeter dick. Auf jedem Schenkel war eine Magnetisirungsspirale von 14 Centimeter Länge geschoben, welche durch 246 in zwei Lagen über einander gewickelte Windungen gebildet wurde. In den Schließungsbogen war eine Tangentenbussole eingeschaltet. Es ergaben sich folgende zusammengehörige Ablenkungen und Tragkräfte:

Ablenkung.	Tragkraft.
2,5°	2300 Gramm.
4,1°	3100 »
5,5°	3700 »
6,4°	4000 »
9,5°	4600 »
14,0°	5200 »
19,0°	5400 »

Während also die Stromstärke ungefähr im Verhältniß von 1 zu 8 wuchs, nahm die Tragkraft nur im Verhältniß von 1 zu 2,35 zu.

Als die Spiralen mit anderen vertauscht wurden, welche bei gleicher Windungszahl nur halb so lang waren (vier Lagen), wurde bei gleicher Stromstärke nahezu dieselbe Tragkraft erhalten wie vorher.

Ein Grund, warum die Tragkraft hufeisenförmiger Elektromagnete sich noch weit rascher ihrem Maximum nähert als das magnetische Moment gleich langer Eisenstäbe, liegt, wie Poggendorff gezeigt hat, darin, daß durch die Rückwirkung des Ankers auf den Elektromagneten noch eine bedeutende Erhöhung seiner magnetischen Erregung stattfindet. Um dies nachzuweisen, schob er über die Magnetisirungsspirale noch eine zweite (Inductions-) Spirale, in deren Schließungsbogen irgend ein Rheometer eingeschaltet war. In dem Moment nun, in welchem der Strom der Kette durch die Magnetisirungsspirale zu gehen beginnt und der Eisenkern magnetisch wird, wird, wie wir im nächsten Capitel sehen werden, in der zweiten Spirale ein Strom inducirt, dessen Stärke dem im Eisenkern erregten Magnetismus proportional ist. Durch diesen Inductionsstrom ist es also möglich, die Stärke des Magnetismus im Eisenkern zu messen.

Bei Anwendung eines schwachen Stromes ergab sich z. B. auf diese Weise, daß die magnetische Erregung des Eisenkerns 7,3mal so stark war, wenn das Hufeisen durch den Anker geschlossen wurde, als wenn der Anker fehlte.

Durch diese Rückwirkung des Ankers wird also natürlich der Magnetismus des Eisenkerns weit rascher seinem Maximum entgegengeführt, als es außerdem der Fall sein würde. Klar ist auch, daß die Rückwirkung des Ankers für schwache Ströme verhältnißmäßig weit stärker sein muß als für stärkere.

Wenn bei vorgelegtem Anker der magnetisirende Strom unterbrochen wird, so verliert der Elektromagnet keineswegs seinen ganzen Magnetismus, wie es der Fall sein würde, wenn der Anker fehlte, und wenn das Eisen auch ganz frei von Coërcitivkraft wäre; der Anker wird also immer noch mit einiger Kraft angezogen und der Magnetismus des Eisens verliert sich erst vollständig, wenn man den Anker abreißt.

Wenn elektromagnetische Pole einander gegenüberstehen, ohne sich zu berühren, so wird ihre gegenseitige Anziehung oder Abstoßung dem Product ihrer Magnetismen proportional sein. Ist es nun derselbe Strom, welcher beide Elektromagnete umkreist, und sind die Eisenkerne dick genug, um ihren Magnetismus der Stromstärke proportional setzen zu können, so ist klar, daß die gegenseitige Anziehung oder Abstoßung der beiden Pole dem Quadrate der Stromstärke proportional sein wird.

Vertheilung des Magnetismus im Querschnitte der Eisenstäbe. 116 Feilitzsch hat nachgewiesen, daß der Magnetismus durchaus nicht gleichförmig im Querschnitte der Elektromagnete vertheilt ist, sondern daß die äußeren Schichten einen stärkeren Magnetismus zeigen als die inneren, daß bei schwacher magnetisirender Kraft nur in den äußeren Schichten eine magnetische Erregung stattfindet. (Poggendorff's Annalen Bd. LXXX, S. 321.)

Die Magnetisirungsspirale, die er zu seinen Versuchen anwandte, war 102 Millimeter lang und war aus 176 Windungen eines $1^3/_4$ Millimeter dicken

Drahtes gebildet (vier Lagen, jede zu 44 Windungen). In die Höhlung derselben wurde eine Reihe aus Eisenblech verfertigter Cylinder gesteckt, von welchen immer einer genau in den anderen paßte. Der äußerste hatte einen Durchmesser von 31, der innerste, d. h. der siebente, hatte einen Durchmesser von 19 Millimetern. Die Blechdicke betrug etwas mehr als $1/2$ Millimeter. Sämmtliche Cylinder waren 110 Millimeter lang. Während ein Strom von bestimmter Stärke die Windungen durchlief, wurde nun erst der weiteste Cylinder eingeschoben und die Stärke seines Magnetismus bestimmt; dann der zweite in den ersten und nun die Bestimmung des Magnetismus der beiden Hülsen vorgenommen; darauf wurde die dritte Hülse hinzugefügt u. s. w.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate einer solchen Versuchsreihe.

Stromstärke.	Nummer der gleichzeitig eingeschobenen Eisencylinder.	Gesammtmagnetismus der Cylinder.	Nummer der einzelnen Cylinder.	Magnetismus in denselben.
1,212	1	2,639	1	2,639
	1 + 2	2,911	2	0,272
	1 + 2 + 3	2,971	3	0,060
2,975	1	4,742	1	4,742
	1 + 2	6,604	2	1,961
	1 + 2 + 3	7,024	3	0,420
	1 + 2 + 3 + 4	7,199	4	0,175
6,783	1	6,059	1	6,059
	1 + 2	10,710	2	4,651
	1 + 2 + 3	14,129	3	3,419
	1 + 2 + 3 + 4	15,942	4	1,813
	1 + 2 + 3 + 4 + 5	16,577	5	0,635
	1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6	16,860	6	0,283
	1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7	17,011	7	0,151
8,510	1	6,347	1	6,347
	1 + 2	11,413	2	5,066
	1 + 2 + 3	15,500	3	4,087
	1 + 2 + 3 + 4	18,453	4	2,935
	1 + 2 + 3 + 4 + 5	20,019	5	1,566
	1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6	20,800	6	0,781
	1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7	21,135	7	0,335

Diese Tabelle ist wohl ohne weitere Erläuterung verständlich, und da es ja hier nur um Verhältnißzahlen zu thun ist, so ist es auch nicht nöthig, die Einheiten näher zu definiren, auf welche sich die Werthe der Stromstärke und des Magnetismus beziehen.

Aus den Zahlen dieser Tabelle lassen sich nun leicht folgende Schlüsse ziehen:

1) Der Magnetismus dringt um so tiefer in das Eisen ein, je stärker die magnetisirende Kraft der Spirale ist.

2) Jede Schicht des weichen Eisens hat einen Sättigungspunkt, und diesem Sättigungspunkte nähern sich die äußersten Schichten am schnellsten. Bei schwächeren magnetisirenden Kräften bleibt der Kern ganz unmagnetisch.

Magnetische Wirkungen der Reibungselektricität. Um eine Ablenkung der Magnetnadel durch Reibungselektricität hervorzubringen, muß man einen Multiplicator von sehr vielen Windungen anwenden, die möglichst gut isolirt sein müssen, was am besten dadurch erreicht wird, daß jede Lage von Drahtwindungen mit Schellackfirniß angestrichen, und die folgende Lage erst aufgewickelt wird, wenn er genügend getrocknet ist. 117

Wird nun das eine Drahtende eines solchen Multiplicators mit dem Conductor, das andere mit dem Reibzeug einer Elektrisirmaschine in leitende Verbindung gebracht, so kann man beim Drehen derselben eine Ablenkung von 10 bis 20 Graden erhalten.

Wenn durch den Entladungsstrom einer Leydener Flasche oder einer Flaschenbatterie die Nadel eines Multiplicators abgelenkt werden soll, so muß man die Entladung durch Einschaltung schlechter Leiter, etwa feuchter Schnüre oder mit Wasser gefüllter Glasröhren u. s. w., verzögern.

Stahlnadeln können dadurch magnetisirt werden, daß man den Entladungsschlag einer Batterie in vielen Windungen um sie herumführt. Eine Spirale, welche zur Magnetisirung mit Reibungselektricität dienen soll, erhält man am besten, wenn man den Draht in 50 bis 100 wohl isolirten Windungen auf eine Glasröhre aufwickelt, in welche man die zu magnetisirenden Nadeln (am bequemsten sind Nähnadeln zu diesen Versuchen) hineinlegt. Die Entladung darf übrigens bei diesen Versuchen nicht verzögert werden.

Für schwächere Ladungen der Batterien werden die Nadeln normal, d. h. dem Ampère'schen Gesetze entsprechend magnetisirt, allein nicht immer entspricht einer stärkeren Ladung auch eine stärkere Magnetisirung, und wenn die Ladung über eine gewisse Gränze hinaus getrieben wird, so finden sogar anormale Magnetisirungen Statt, d. h. die Polarität der Nadel zeigt sich derjenigen entgegengesetzt, welche man nach dem Ampère'schen Gesetze hätte erwarten sollen.

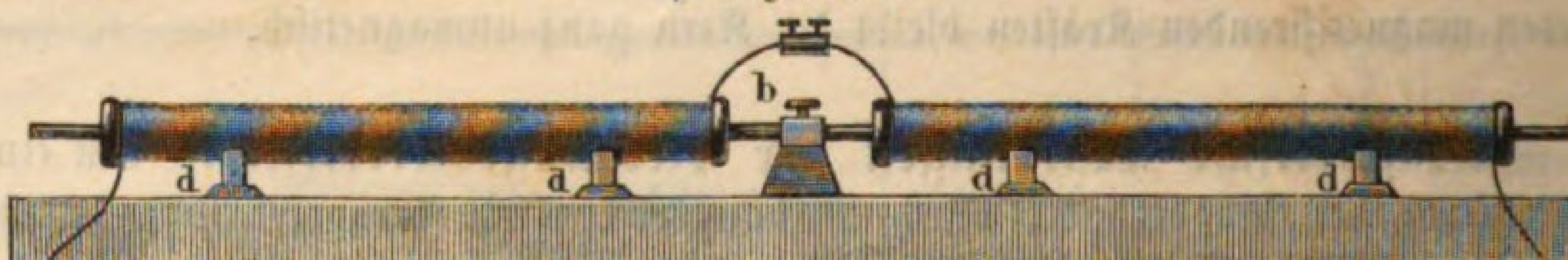
Mit Versuchen über die Magnetisirung durch den Entladungsschlag der Batterie haben sich besonders Savary, Rieß und Hankel beschäftigt.

118 **Galvanisches Tönen.** Die Magnetisirung des Eisens durch eine galvanische Spirale ist oft von einer eigenthümlichen Tonbildung begleitet. Die erste hierher gehörige Beobachtung wurde von Page gemacht.

Marrian beobachtete das Tönen von Eisenstäben, welche sich in einer Magnetisirungsspirale befinden, wenn der Strom, welcher dieselbe durchläuft, abwechselnd unterbrochen und wieder hergestellt wird. Seine Stäbe waren $1/4$ bis 2 Zoll dick und hatten eine Länge von $1/2$ bis 20 Fuß. Sie gaben dabei immer den Ton, welcher auch durch Streichen ihres Endes erhalten wird, also den Longitudinalton der Stäbe.

Wertheim hatte diese Tonbildung näher untersucht. Fig. 280 stellt den

Fig. 280.



von ihm angewandten Apparat dar. Die Eisenstäbe waren in der Mitte ihrer Länge bei *b* festgeklemmt. Ueber beide, oder auch nur über das eine Stabende ist eine kräftige Magnetisirungsspirale so geschoben, daß die Achse des Stabes und die Achse der Spirale zusammenfallen.

Sobald man den Strom, welcher die Spirale durchläuft, discontinuirlich macht, läßt der Stab einen Ton hören, welcher, wie schon Marrian bemerkte, dem durch Reiben des Stabes erzeugten Longitudinalton gleich ist. Er ist unabhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher die Unterbrechungen auf einander folgen.

Die Unterbrechungen und Wiederschließungen des Stromes können mittelst eines in dem Schließungsbogen eingeschalteten Quecksilbernäpfchens oder mittelst eines Unterbrechungsrades, wie wir es im nächsten Capitel werden kennen lernen, zu Stande gebracht werden. Natürlich muß man dafür sorgen, daß das Unterbrechungsrad in gehöriger Entfernung, etwa in einem anderen Zimmer aufgestellt ist, damit das Geräusch desselben bei Beobachtung des galvanischen Tones nicht stört.

Der longitudinale Strom ist fast immer begleitet von einem Stoß und trockenem Geräusch, welches nicht den Charakter eines bestimmten musikalischen Tones hat.

Das Resultat bleibt für alle Querdimensionen dasselbe.

Stahlstäbe geben gleichfalls sehr schöne Töne; dagegen geben Stäbe von Zink, Kupfer, Messing, Glas u. s. w. selbst mit Säulen von 20 Bunsen'schen Elementen keinen Ton.

Befindet sich der Stab außerhalb der Achse der Spirale, so ist der longitudinale Ton weniger rein und von Querschwingungen begleitet, die schon dem bloßen Auge sichtbar sind; allein diese Schwingungen geben einen so schwachen Transversalton, daß man ihn nicht anders hören kann, als wenn man das Ohr auf das den Apparat tragende Brett legt.

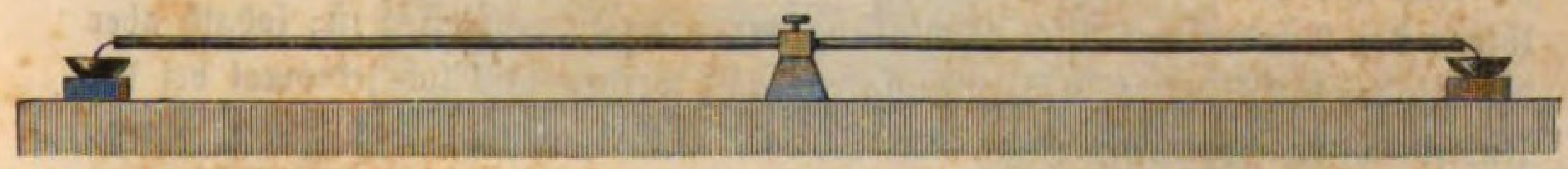
Der Ton bleibt sich gleich, es mag der Strom in gleichem oder entgegengesetztem Sinne die beiden Hälften des Stabes umkreisen, oder endlich nur auf eine Hälfte oder irgend einen Theil des Stabes wirken, sobald nur dieser Theil hinlänglich vom Einspannungspunkt entfernt und der Strom hinlänglich stark ist.

Aehnliche Resultate wurden mit Eisen- und Stahldrähten erhalten, welche in der Axe der Magnetisirungsspirale ausgespannt waren. — Wertheim wandte Drähte von 0,5 bis 3 Millimetern Dicke an. Sobald die Spannung so stark war, daß der am Draht hinabgeführte Violinbogen nur den Längston ohne ein anderes Geräusch vernehmen ließ, war der vom unterbrochenen Strom erregte Ton auch ganz rein; wenn aber die Spannung vermindert wird, ist sowohl der vom Violinbogen als auch der durch den Strom erzeugte Ton von einem anderen Geräusch begleitet. Dieses Geräusch ist nicht bloß der Querton, sondern ein ganz eigenthümliches, schwer bestimmbares Geräusch, gewissermaßen ein dem Draht entlang laufendes Geklirr, welches vorzugsweise bei rasch auf einander folgenden Unterbrechungen merklich wird. Bei dünnen Drähten ist dieses Geräusch schwer zu beobachten, während der Längston selbst bei schwachen Spannungen andauert. — Wohl angelassene Drähte von 1mm Durchmesser geben im Allgemeinen die besten Resultate.

Drähte von Blei, Zinn, Zink, Kupfer, Messing, Silber und Platin geben, nach Wertheim's Versuchen, keinen Ton.

Auch mit dem durchgeleiteten Strom brachte Wertheim Töne hervor. Um sie in einem Eisenstabe zu erzeugen, befestigte er einen dünnen Messinghaken an jedem Ende des Stabes, Fig. 281, und tauchte dieselben in Quecksilbernäpfchen.

Fig. 281.



Jedesmal, wenn der Strom hergestellt und wieder unterbrochen wird, hört man den Längston. »Bei diesen Versuchen muß man sich aber sehr hüten,« sagt Wertheim, »den eigenen Ton des Stabes zu verwechseln mit dem Geräusch des Funkens, welches sich gleich jedem anderen Ton mit großer Leichtigkeit durch starre Körper fortpflanzt. Dieser Fehler wird leicht begangen, besonders wenn der Stab oder der Draht auf einem Resonanzboden befestigt ist.«

Bei gleichem Strom nimmt die Stärke des Tones ab, wenn der Stab dicker ist.

Nach Wertheim's Untersuchungen erfährt der Eisenstab im Momente der Magnetisirung eine sehr kleine Verlängerung, welche ohne Zweifel die Ursache der Tonbildung ist. Diese Verlängerung ging selten über 0,002 Millimeter, und war, obwohl deutlich sichtbar, doch fast unmeßbar.

Nach Joule's Messungen beträgt die Verlängerung eines bis zur Sättigung magnetisirten Eisenstabes $^1/_{270000}$ seiner Länge.

Befindet sich der Eisenstab nicht in der Axe der Drahtrolle, sondern auf der Seite, so ist die Verlängerung von einer weit bedeutenderen Seitenbewegung begleitet.

Ein ähnliches Tönen beobachtete Poggendorff (Annalen Bd. XCVIII), als er eine kräftige Magnetisirungsspirale (die seinige war aus einem ungefähr 100 Fuß langen und $1^1/_2$ Millimeter dicken Kupferdraht gebildet) mit einem Cylinder von Eisenblech umgab. Die Axe der Drahtspirale stand vertical und der Blechcylinder war darüber geschoben, ungefähr wie Fig. 282 zeigt.

Fig. 282.



$\frac{1}{3} - \frac{1}{4}$

Zur Unterbrechung des Stromes wurde ein Wagner'scher Hammer von möglichst leisem Gang angewandt, dessen Beschreibung im nächsten Capitel folgt.

Das Tönen des Eisencylinders erfolgt, mag nun der Cylinder vollkommen metallisch geschlossen sein oder nicht; in letzterem Falle wird aber der Ton sogleich weit kräftiger, oder vielmehr es scheint zu dem ersten noch ein neuer Ton hinzuzukommen, wenn man die Ränder des verticalen Spaltes *ab* mit einander in Berührung bringt.

Wendet man statt der eisernen Hohlcylinder andere von nicht magnetischen Metallen, z. B. von Zink, von Messing u. s. w. an, so ist kein Ton zu hören, wenn der Cylinder durch Zusammenlöthen der Ränder metallisch geschlossen oder wenn er ganz offen ist; sobald aber die Ränder des Spaltes in Berührung gebracht werden, läßt sich jedesmal bei der Unterbrechung des Stroms in der Spirale ein eigenthümliches Ticken hören. Der Ton ist am stärksten, wenn die Ränder nur lose aneinander liegen; er wird schwächer, wenn man sie fest gegen einander drückt. Zur Hervorbringung der Erscheinung genügt ein einziger Bunsen'scher Becher.

Die Töne, welche man von Metallröhren mit einander berührenden Rändern erhält, werden offenbar durch die (erst im nächsten Capitel zu besprechenden) Inductionsströme hervorgerufen, welche die Unterbrechung des die Spirale durchlaufenden Stromes in der Masse der Metallhülsen erzeugt. Für die Richtigkeit dieser Ansicht spricht auch der Umstand, daß alles, was den Inductionsstrom verstärkt, also auch namentlich das Einschieben eines Bündels von Eisendrähten in die Höhlung der Spirale, den Ton lauter macht.

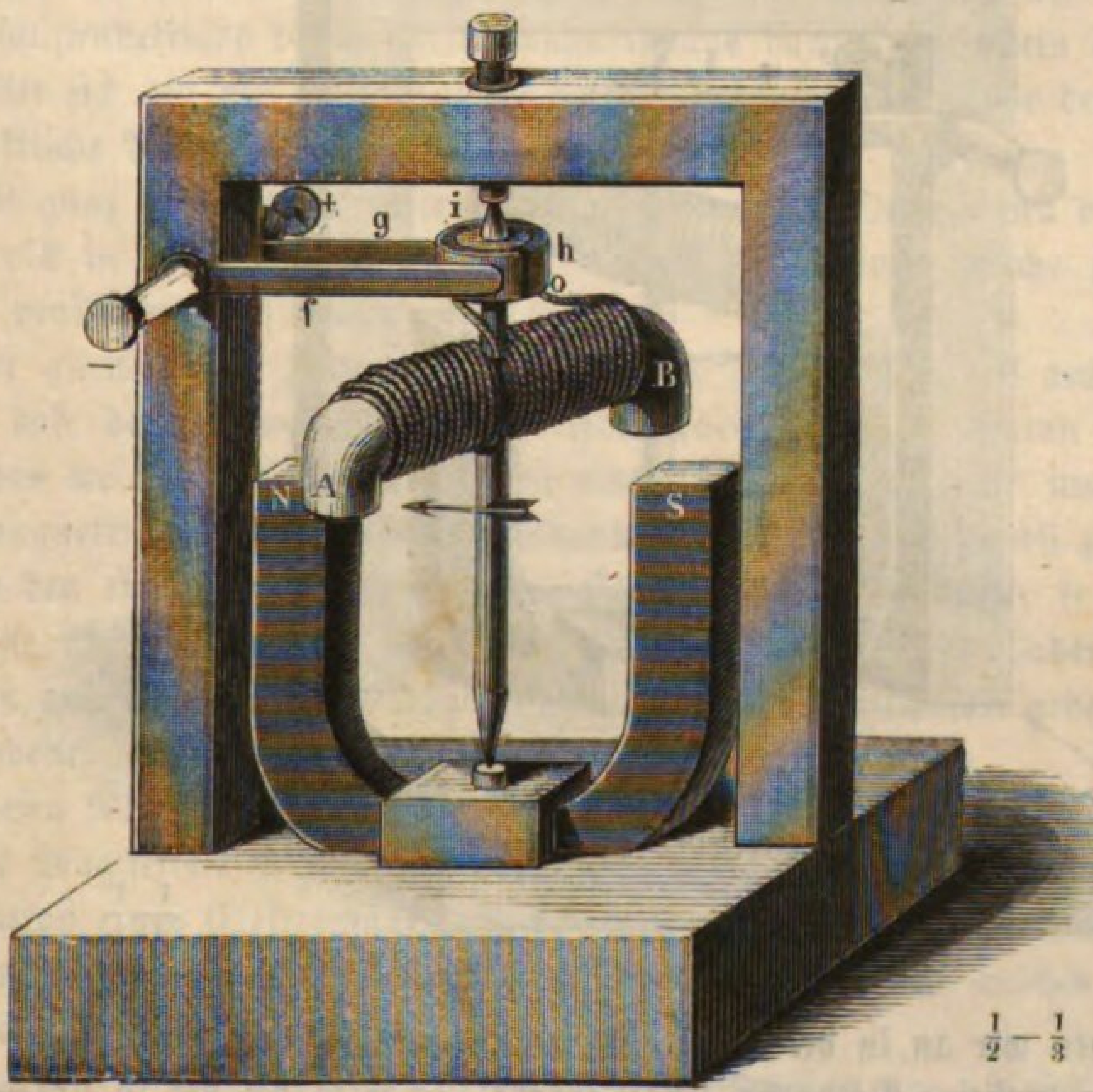
119 **Benutzung des Elektromagnetismus als Triebkraft.** Die kräftigen Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen, welche man an Elektromagneten beobachtet, führten auf den Gedanken, dieselben zum Betriebe von

Maschinen zu verwenden. Dal Negro construirte bereits im Jahre 1834 einen kleinen Apparat der Art, welcher in der Minute 180 Gramm 1 Meter hoch hob. In Deutschland war Jacobi der Erste, welcher einen elektromagnetischen Motor construirte. Er publicirte die Beschreibung desselben im Jahre 1835.

Im Wesentlichen gründen sich alle die hierher gehörigen Apparate darauf, daß, nachdem die durch eine magnetische Anziehung hervorgebrachte Bewegung vollendet ist, durch Stromwechsel, also durch Umkehrung der einen Polarität, wieder eine Abstoßung erzeugt und sofort durch jeweilige Umkehrung der Polarität eine continuirliche Bewegung hervorgebracht wird.

Die Grundidee der elektromagnetischen Motoren läßt sich am bequemsten durch Ritchie's rotirenden Elektromagneten anschaulich machen, welcher mit einigen Modificationen Fig. 283 abgebildet ist.

Fig. 283.



Ein Uförmiger Stahlmagnet ist auf einem Brette so befestigt, daß er vertical steht und seine Pole nach oben gerichtet sind. In der Mitte zwischen den beiden Schenkeln desselben befindet sich eine verticale stählerne Axe, welche in Spitzen läuft, und an welcher ein horizontaler Elektromagnet befestigt ist, dessen Pole bei der Rotation um die verticale Axe gerade über den Polen des Stahlmagneten hinweggehen. Gerade über dem Elektromagneten ist auf der stählernen Axe eine Scheibe von Holz befestigt, welche von einem Messingringe umgeben ist. Dieser Ring bildet aber kein Ganzes, sondern er besteht aus zwei Hälften *h* und *i*, welche durch zwei einander diametral gegenüberliegende Zwischenräume

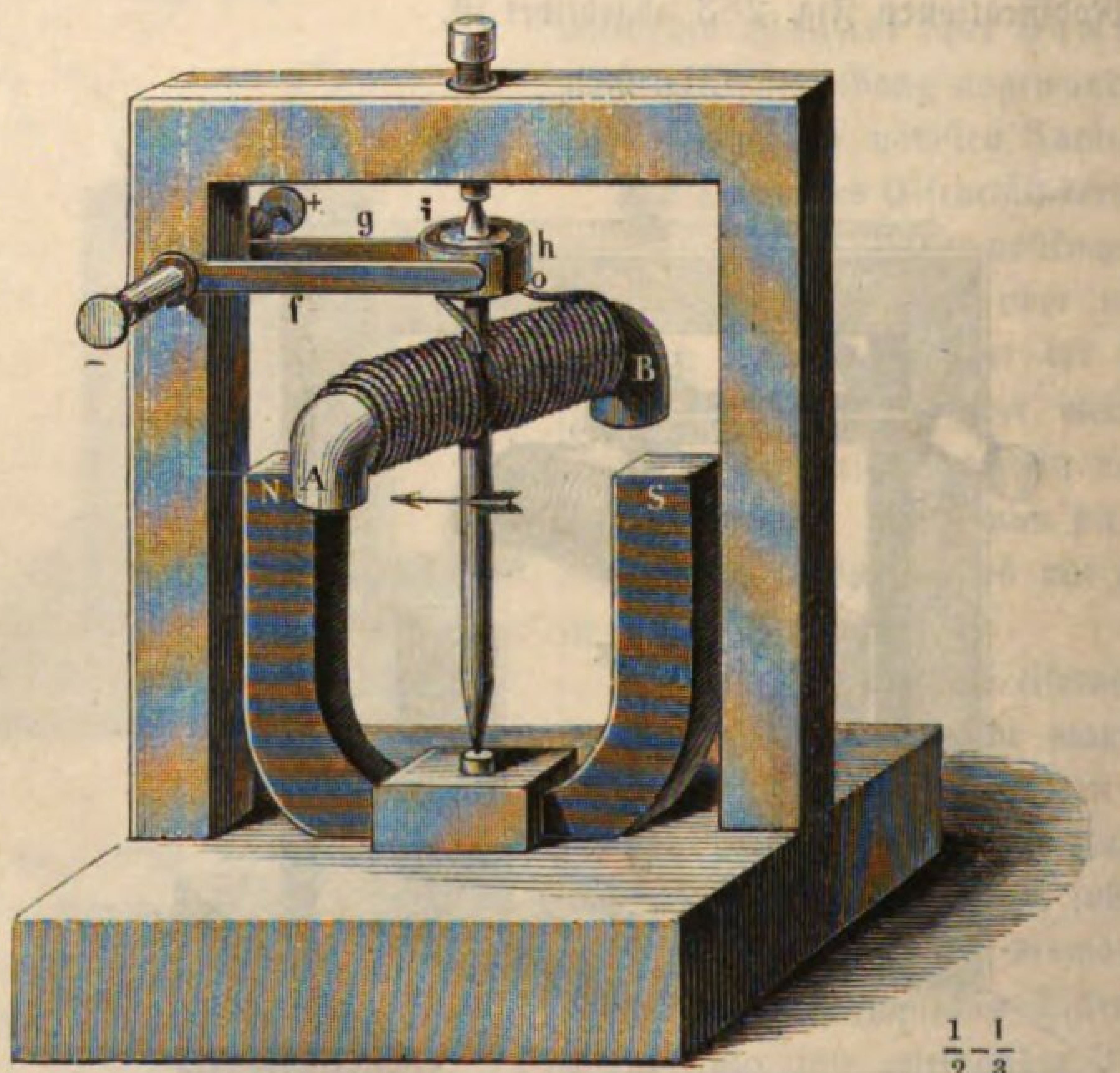
20*

von einander getrennt sind, also nicht in leitender Verbindung stehen, wie man in der Figur deutlich sieht.

Das eine Ende *o* der Drahtwindungen, welche den Eisenkern des Elektromagneten umkreisen, ist nun an dem Halbringe *h*, das andere Drahtende ist an dem Halbringe *i* angelöthet.

Auf dem Umfange der eben besprochenen Scheibe schleifen nun zu beiden Seiten zwei Metallfedern *f* und *g*, auf deren äußeren Enden die Klemmschrauben befestigt sind, welche zur Aufnahme der Poldrähte der Batterie dienen.

Fig. 283.



Nehmen wir an, in die vordere Klemmschraube sei der negative, in die hintere sei der positive Poldraht eingeschraubt, so wird bei der in unserer Figur dargestellten Lage der positive Strom durch die Feder *g* zum Halbringe *h* und von diesem durch *o* in die Windungen gelangen, während die vordere Feder auf dem Halbringe *i* schleift, also der positive Strom aus den Windungen über *i* und durch die Feder *f* austritt. Unter diesen Umständen wird das vordere Ende *A* des umströmten Eisens ein Südpol, *A* wird also von *N* und *B* wird von *S* angezogen, der Elektromagnet dreht sich also in der durch den Pfeil angegebenen Richtung.

In dem Moment, in welchem *A* über *N* und *B* über *S* passiren, gehen die isolirenden Zwischenräume zwischen *h* und *i* unter den Federn weg, die Feder *f* kommt auf *h* und *g* kommt auf *i* zu liegen, was einen Stromwechsel und

eine Umkehrung der Polarität des Elektromagneten zur Folge hat. A wird nun von N und B wird von S abgestoßen, was zur Folge hat, daß die Rotation in gleicher Richtung fortdauert. Sobald A wieder über S und B über N ankommt, findet abermaliger Polwechsel Statt, durch welchen der Elektromagnet abermals in gleicher Richtung fortgetrieben wird.

Es versteht sich von selbst, daß man den Stahlmagneten in diesem Apparate auch durch einen Elektromagneten ersetzen kann, in welchem kein Polwechsel stattfindet.

Bei dem Jacobi'schen Apparate war die Umdrehungsaxe horizontal und statt eines festen und eines beweglichen Elektromagneten kamen vier feste und vier rotirende in Anwendung. Mit einer solchen elektromagnetischen Maschine, welche durch eine Batterie von 64 constanten Zinkplatinelementen getrieben wurde, brachte er es im Jahre 1839 dahin, ein Boot auf der Newa mit $^3/_4$ bis 1 Pferdekraft in Bewegung zu setzen. So war allerdings die Möglichkeit des Maschinenbetriebs durch Elektromagnetismus dargethan; allein diese Triebkraft stellte sich als viel zu kostspielig heraus, als daß man vor der Hand an eine praktische Anwendung derselben denken kann.

Mit ganz besonderem Interesse verfolgte man in Deutschland die Arbeiten Wagner's in Frankfurt a. M. über diesen Gegenstand, welche jedoch auch nicht zu praktischen Resultaten führten.

Bei allen diesen Apparaten erwuchs ein großer Nachtheil aus dem Umstande, daß der Polwechsel der Elektromagnete nicht momentan stattfindet. Selbst das weichste Eisen, welches von einer elektrischen Spirale umgeben zum Elektromagneten wird, ist nicht im Stande, seine Pole so schnell zu wechseln, als man den elektrischen Strom in der Spirale umkehren kann; je größer die Eisenmasse ist, desto träger ist sie in dieser Beziehung, und daher kommt es auch, daß größere Apparate verhältnißmäßig schlechtere Resultate geben als kleinere Modelle.

Diesen Nachtheil, welcher aus der Trägheit des Eisens gegen die Umkehrung des Magnetismus herrührt, hat Stöhrer zu umgehen gewußt, indem er die Rotation eines Elektromagneten, dessen Pole nicht gewechselt werden, durch den Polwechsel einer elektrischen Spirale bewirkt, innerhalb welcher der Elektromagnet sich dreht.

Fig. 284 (a. f. S.) stellt den Stöhrer'schen Apparat dar. a und b sind zwei längliche Rahmen, welche von übersponnenem Kupferdraht gebildet sind, der ungefähr 1 Linie im Durchmesser hat. Die Drahtwindungen, welche den oberen Rahmen bilden, sind durch den gebogenen Draht c mit dem des unteren verbunden; die Windungen beider Rahmen sind der Art, daß ein elektrischer Strom beide in gleicher Richtung durchläuft. Der ganze aus horizontalen Drahtwindungen gebildete Rahmen ist mit seidenem Band umwickelt.

Zwischen dem oberen und dem unteren Drahtrahmen ist ein solcher Zwischenraum, daß die Umdrehungsaxe des Elektromagneten d sich frei bewegen kann.

Der Eisenkern des Elektromagneten ist an jedem Ende mit einer Eisen-

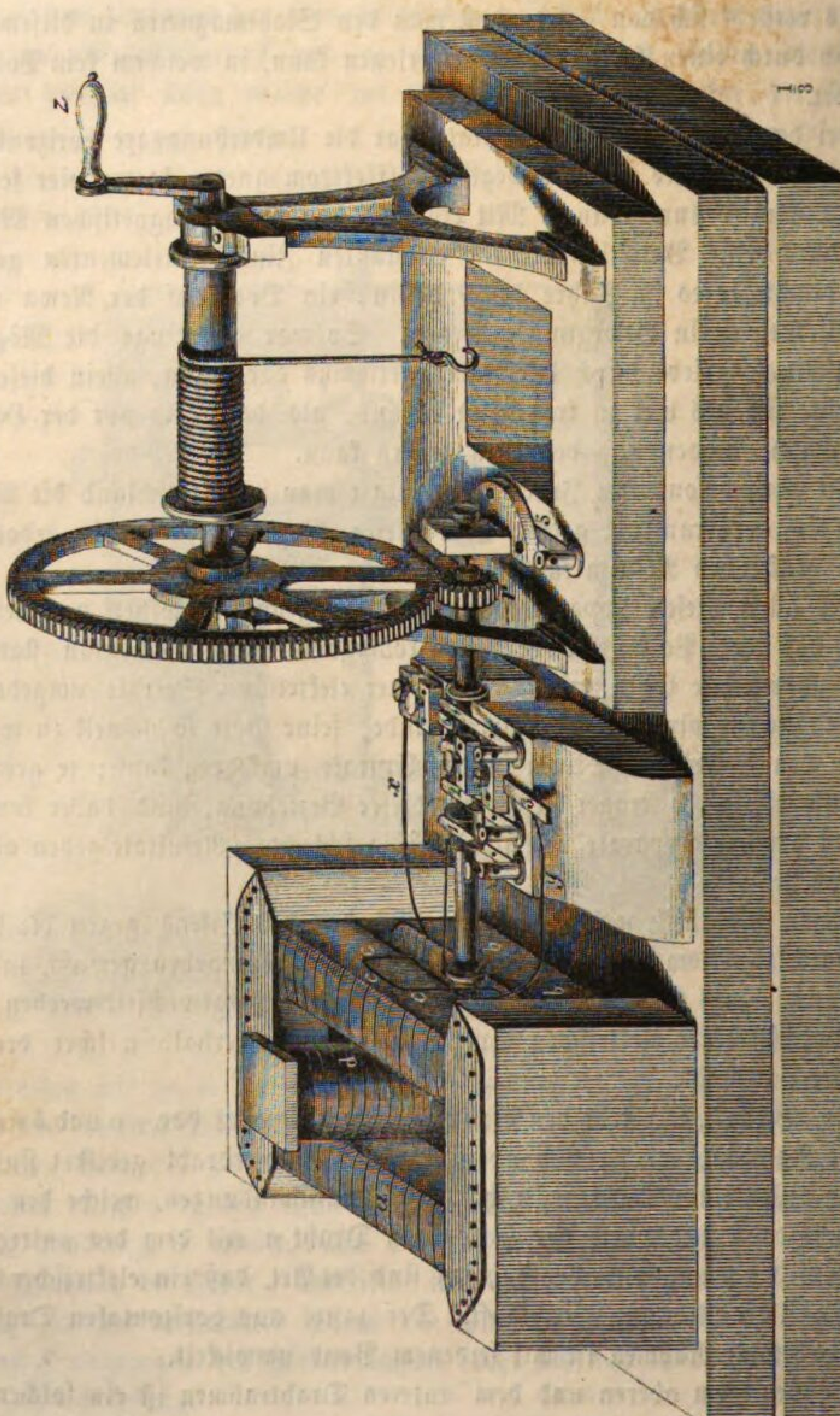


Fig. 284.

platte versehen, welche einestheils die Drahtwindungen des Elektromagneten hält, anderentheils aber auch sehr zur Verstärkung der Wirkung beiträgt.

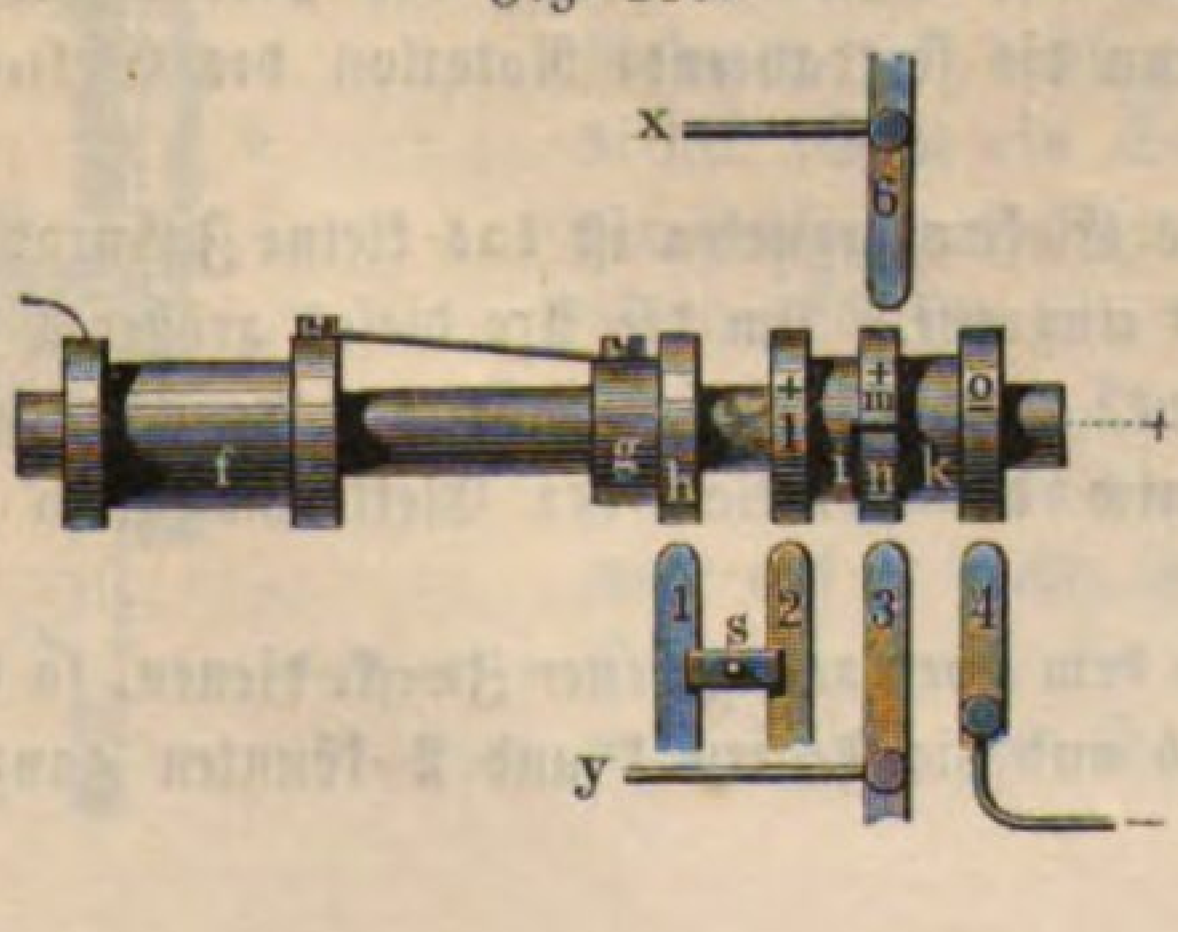
Wenn gleichzeitig ein Strom durch die Windungen der Rahmen *a* und *b* und durch die Windungen des Elektromagneten *d* hindurchgeht, so wird sich der Elektromagnet rechtwinklig stellen zur Ebene der Rahmen; und zwar wird, je nach der Richtung des Stromes in den Rahmen, ein bestimmter Pol des Elektromagneten sich nach oben kehren. Bliebe der Strom in den Rahmen ungeändert, so würde der Elektromagnet in dieser Gleichgewichtslage nach einigen Oscillationen zur Ruhe kommen; wird aber der Strom in den Rahmen in demselben Moment umgekehrt, in welchem der Magnet seine verticale Stellung erreicht hat, so wird nun die Rotation fortdauern müssen, denn bei der neuen Stromrichtung in den Rahmen kann der Elektromagnet nicht eher zur Ruhe kommen, als bis der eben oben angekommene Pol gerade nach unten gerichtet ist; es wird also eine beständige Rotation des Elektromagneten stattfinden müssen, wenn nach jeder halben Umdrehung desselben der Strom in den Rahmen umgekehrt wird, während die Polarität des Elektromagneten ungeändert bleibt.

Sehen wir nun, wie der Strom durch den Apparat hindurch geleitet wird.

Die Umdrehungsaxe des Elektromagneten läuft zwischen zwei Stahlspitzen, von denen nur die eine in unserer Figur sichtbar ist. Diese Spitze steckt mit einem Schraubengewinde in einem Messingpfeiler, dessen Fuß fest auf den Boden aufgeschraubt ist, so daß eine innige Berührung zwischen diesem Messingfuße und dem Kupferstreifen 5 stattfindet, auf dessen anderem Ende ein Messingsäulchen sitzt. In dieses Säulchen kann der eine Poldraht einer galvanischen Kette eingesteckt und mittelst einer Schraube festgeklemmt werden. (Die Schraube ist in der Figur weggelassen worden; dies Säulchen und seine Schraube ist genau so, wie das auf der Feder 1 stehende.)

Der Strom tritt also durch dies Säulchen und den Kupferstreifen 5 in den Apparat ein, geht durch die Spitze in die Umdrehungsaxe über, durch welche er zum Eisenkern des Elektromagneten gelangt. Auf diesen Eisenkern ist nun das eine Drahtende der Spirale aufgeschraubt, welche um den Eisenkern herumgewunden ist; das andere Ende dieser Spirale ist auf die Kupferhülse *f*, welche man Fig. 285 deutlicher sieht, eingelassen. Diese Kupferhülse steckt nicht unmittelbar auf der eisernen Axe, sondern sie ist von ihr durch eine isolirende Hülse getrennt. Der Strom geht also aus dem Eisenkern des Elektromagneten in die Windungen desselben, und nachdem er dieselben durchlaufen hat, gelangt er zur

Fig. 285.



Kupferhülse *f*, von der er dann zum Commutator geführt wird, welcher bewirkt, daß die Stromrichtung in die Windungen der Rahmen geleitet und nach jeder halben Umdrehung in denselben umgekehrt wird.

Die Einrichtung dieses Commutators ist aus Fig. 285 deutlicher zu ersehen. Von der Kupferhülse *f* führt ein Kupferdraht zur Eisenhülse *g*, welche, wie auch die eisernen Hülsen *i* und *k*, durch eine hölzerne Hülse, auf der sie stecken, welche aber nur zwischen *h* und *l* freiliegt, vor metallischer Berührung mit der Axe geschützt ist. Die Hülse *g* trägt den ganz kreisförmigen metallischen Kamm *h*; an dem einen Ende der Hülse *i* befindet sich der ganz kreisförmige Kamm *l*, auf der anderen Seite von *i* ist der Kamm *m* befestigt, welcher jedoch nur einen Halbkreis bildet. Der halbkreisförmige Kamm *n*, welcher gleichsam die Fortsetzung von *m* bildet, ist durch die Hülse *k* mit dem ganz kreisförmigen Kamm *o* in leitender Verbindung, aber durch eine isolirende Substanz von *m* und *i* getrennt.

Auf *h* schleift die Feder 1, auf *l* die Feder 2, auf *o* die Feder 4. Die Feder 3 schleift oben, die Feder 6 schleift unten an dem aus den Theilen *m* und *n* bestehenden Kamm und zwar so, daß *n* und 3 in Berührung sind, wenn *m* und 6 sich berühren; wenn aber während der Rotation *m* mit 3 in Berührung kommt, so kommt unten *n* mit 6 in Berührung.

Nehmen wir an, der positive Pol der Kette sei in das Säulchen des Streifens 5, der negative Poldraht in das Säulchen der Feder 4 eingeschraubt, so geht der positive Strom, nachdem er den Elektromagneten umkreist hat, von *f* nach *g* und *h*, von da durch die Feder 1 und den kupfernen Querstreifen *s* auf die Feder 2, dann nach *l*, *i* und *m*; der halbkreisförmige Kamm *m* ist also gleichsam ein +Pol; von *m* geht der positive Strom auf diejenige Feder über, die er gerade berührt.

Der negative Strom tritt durch die Feder 4 ein und gelangt von da über *o* und *k* nach *n*, so daß also *n* gleichsam der negative Pol der Kette ist.

Wenn *m* gerade mit 6, *n* aber mit 3 in Berührung ist, so tritt der positive Strom von 6 aus durch den Draht *x* in die Windungen der Rahmen ein, und gelangt, nachdem er diese Windungen durchlaufen hat, durch den Draht *y* und die Feder 3 nach *n*; nach einer halben Umdrehung aber kommt *m* mit 3 in Berührung, jetzt tritt der positive Strom durch die Feder 3 und den Draht *y* in die Windungen der Rahmen ein, durch *x* und 6 aber aus, bei jeder halben Umdrehung der Axe findet also eine Umkehrung der Stromrichtung in den Rahmen Statt, wodurch denn die fortdauernde Rotation des Elektromagneten bewerkstelligt wird.

An der Umdrehungsaxe des Elektromagneten ist das kleine Zahnrad *r* befestigt, welches in ein größeres eingreift. Um die Axe dieses größeren Zahnrades ist eine Schnur geschlungen, an welcher ein passendes Gewicht gehängt werden kann, welches dann durch die Rotation des Elektromagneten gehoben wird.

Sollte der Apparat nur zu dem oben angegebenen Zwecke dienen, so könnte er etwas einfacher sein; *g* und *h* und die Federn 1 und 2 könnten ganz weg-

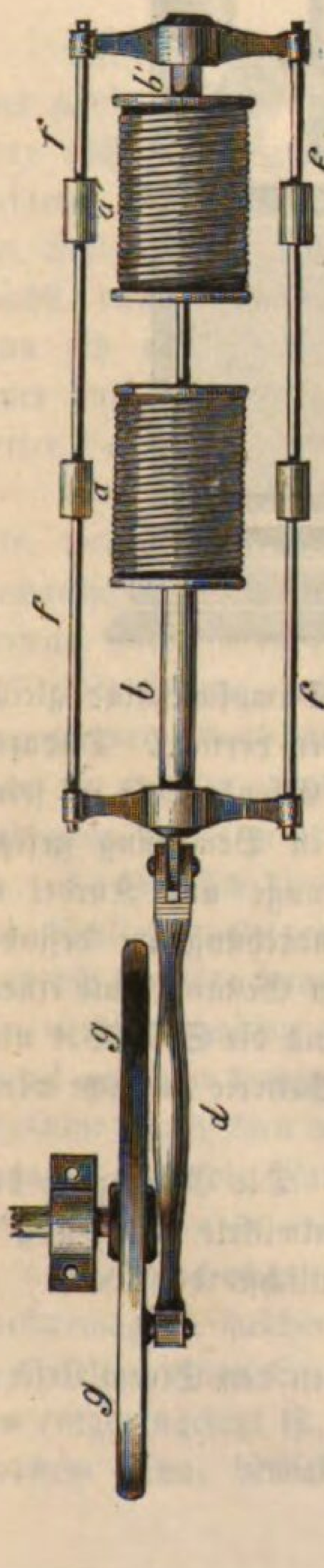
bleiben, *f* und *i* direct durch einen Kupferdraht verbunden sein; bei der Einrichtung, welche der Apparat jetzt hat, läßt er sich aber auch noch zu anderen Versuchen anwenden, welche erst später besprochen werden können.

Bei Anwendung einer Bunsen'schen Batterie wurden folgende Resultate erhalten:

1	Becher	hob	$1^3/_4$	Pfund	in 4	Secunden	1	Fuß hoch.
2	»	»	3	»	» 3	»	»	» »
3	»	»	5	»	» $2^1/_2$	»	»	» »
4	»	»	6	»	» 2	»	»	» »
5	»	»	$6^3/_4$	»	» $1^1/_2$	»	»	» »

Obgleich die Stöhrer'schen Apparate günstigere Resultate geben, als alle früher zu diesem Zwecke construirten, so ergab sich doch, daß die Unterhaltungskosten zu groß sind, um eine technische Anwendung möglich zu machen.

Fig. 286.



Man hat elektromagnetische Motoren von sehr verschiedenen Formen construirt, alle aber lassen sich in zwei Hauptabtheilungen bringen: in die erste Classe gehören solche Apparate, bei welchen, wie bei den bisher betrachteten, direct eine Rotationsbewegung erzeugt wird; in die zweite solche, bei denen ursprünglich eine oscillatorische Bewegung hervorgebracht wird, die erst in eine continuirlich drehende verwandelt werden muß. In diese zweite Classe gehört unter anderen der Apparat des Amerikaners Page, welcher gegenwärtig besonders die Aufmerksamkeit auf sich zieht, der aber wohl so wenig wie die früheren elektromagnetischen Motoren die sanguinischen Hoffnungen erfüllen wird, die man von ihm hegt.

Fig. 286 kann das Wesentliche des Page'schen Apparates anschaulich machen.

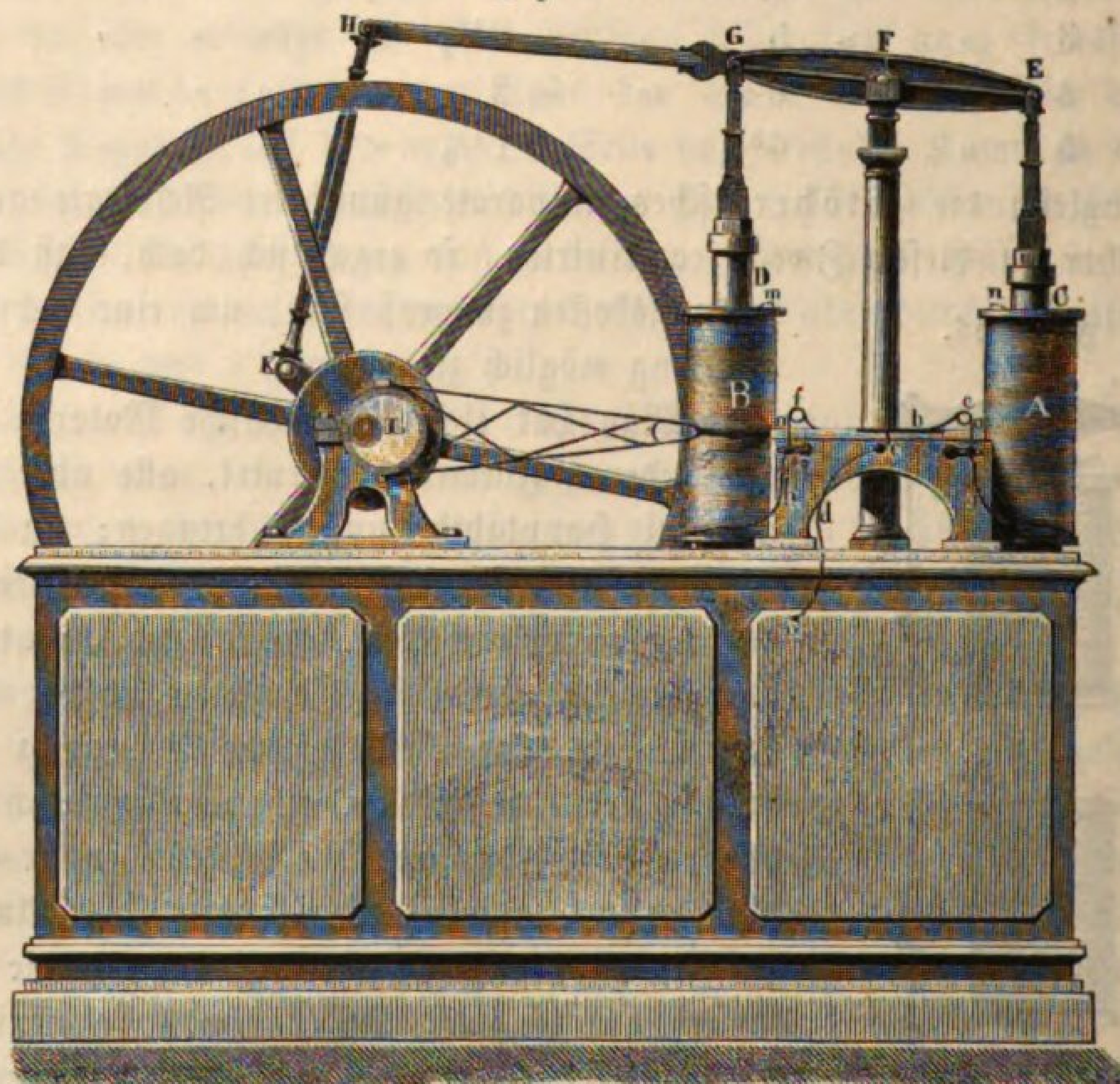
Auf einem Brett sind in horizontaler Lage zwei Magnetisirungsspiralen *a* und *a'* so befestigt, daß ihre Axen genau in dieselbe gerade Linie fallen. Die beiden Eisenstäbe *b* und *b'*, durch ein Messingstäbchen mit einander verbunden, sind an dem beweglichen Rahmen *ff* befestigt, welcher ihnen zur Führung dient. Geht ein Strom durch *a'*, so wird *b'* nach der Linken gezogen; sobald der Stab *b'* ganz in *a'* hineingeschoben ist, wird der Strom in *a'* unterbrochen, während er durch *a* zu laufen beginnt. *b* wird jetzt in die Spirale *a* hineingezogen, während *a'* nicht mehr auf *b'* wirkt; ist die Bewegung nach der rechten Seite hin vollendet, so tritt abermals ein Stromwechsel ein, und so wird eine hin- und hergehende

Bewegung erzeugt, welche durch die Triebstange d dem Schwungrad g eine rotirende Bewegung mittheilt.

Die Vorrichtung zum Stromwechsel ist an der Schwungradswelle angebracht. Diese sowie die Drahtleitungen sind in der Zeichnung weggelassen, da es nur darauf ankam, eine Idee von dem Apparate zu geben.

Als eine Varietät des Page'schen Apparates kann man den in Fig. 287

Fig. 827.



dargestellten betrachten, welcher in seinem Aeußeren die Dampfmaschine gleichfalls nachahmt, wie der vorige. Die beiden Spiralen stehen vertical. Dadurch, daß abwechselnd der Eisenkern C und dann wieder der Eisenkern D in seine Spirale hineingezogen wird, wird der Balancier GE in Bewegung gesetzt, dessen auf- und niedergehende Bewegung durch Pleuelstange und Kurbel in eine rotirende Bewegung verwandelt wird. An der Umdrehungsaxe befindet sich ein Schwungrad und eine excentrische Scheibe, deren Gestänge mit einem Schieber endigt, durch dessen Hin- und Hergehen abwechselnd die Spirale A und dann wieder die Spirale B in den Schließungsbogen der Batterie gebracht wird.

120 **Theorie der elektromagnetischen Motoren.** Die Grundzüge der Theorie elektromagnetischer Motoren hat Jacobi entwickelt (Krönig's Journal Bd. III, Seite 377). Folgendes ist das Wesentlichste derselben:

Es sei

n die Anzahl der Plattenpaare, welche zur Säule verbunden den Strom liefern, welcher die Maschine treiben soll;

e die elektromotorische Kraft eines Plattenpaares;

ϱ der Gesammtwiderstand, so ist nach dem Ohm'schen Gesetze die Stromstärke

$$i = \frac{ne}{\varrho} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1).$$

Wenn nun ein Strom von dieser Stärke in β Windungen einen Eisenkern umkreist, so ist der Magnetismus desselben

$$m = \beta i = \frac{\beta ne}{\varrho} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2);$$

denn bei so dicken Eisenkernen, wie sie bei diesen Maschinen in Anwendung kommen, kann man ohne Anstand den Magnetismus der Stromstärke proportional setzen.

Die Kraft, mit welcher zwei solche elektromagnetische Pole sich anziehen oder abstoßen, ist dem Producte ihrer Magnetismen proportional, also

$$R = m^2 = \frac{\beta^2 n^2 e^2}{\varrho^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3).$$

Dieser Gleichung zufolge kann man bei unveränderten Werthen von n, e und ϱ die zwischen den Polen zweier Elektromagnete stattfindende Anziehung oder Abstoßung durch Vergrößerung der Windungszahl β bis ins Unendliche steigern, wenn man nur die Eisenkerne dick genug macht und dafür sorgt, daß bei Verlängerung des Drahtes auch sein Querschnitt in solchem Verhältnisse wächst, daß der Gesammtwiderstand ϱ unverändert bleibt. — Dadurch glaubte man sich nun zu der Hoffnung berechtigt, daß man den mechanischen Effect einer galvanischen Batterie bei unveränderter Stromstärke, also bei unveränderter Consumtion durch Vermehrung der Windungszahl beliebig steigern könne.

Was von der Größe der Anziehung oder Abstoßung zweier Magnetpole gilt, welche ruhig einander gegenüberstehen, darf aber durchaus nicht auf den mechanischen Effect übertragen werden, welchen die Maschine hervorzubringen vermag, wenn sie in Bewegung ist, wie dies die folgende Betrachtung darthut.

Der Strom, welchen die Säule liefert, behält nur so lange den bei (1) angegebenen Werth, als man die Maschine nicht in Bewegung kommen läßt, als man sie anhält. Sobald die Rotation beginnt, nimmt die Stromstärke ab, und zwar um so mehr, je schneller die Maschine läuft.

Es läßt sich dies leicht nachweisen, wenn man eine Tangentenbussole in den Schließungsbogen einschaltet. Hält man die Maschine an, so beobachtet man die der Gleichung (1) entsprechende Ablenkung. Hängt man der Maschine eine verhältnißmäßig große Last an, so rotirt sie nur ganz langsam und die Nadel geht nur wenig von der Stellung zurück, welche sie einnahm, als die Maschine angehalten wurde. Vermindert man die angehängte Last mehr und mehr, so läuft die Maschine immer schneller und dabei geht die Nadel der Tangentenbussole mehr und mehr zurück.

Diese Schwächung der Stromstärke rührt daher, daß ein Magnet oder ein Elektromagnet, welcher sich in der Nähe einer geschlossenen Drahtspirale bewegt, in derselben einen Strom hervorzurufen (zu induciren) strebt, welcher demjenigen entgegengesetzt ist, welcher, die Spirale durchströmend, eine Bewegung in gleichem Sinne bewirkt. — Die Gesetze dieser inducirten Ströme werden wir

im folgenden Capitel näher betrachten, hier genügt es uns, vor der Hand zu wissen, daß die in Folge der Induction eintretende Stromschwächung proportional ist:

1) der Geschwindigkeit v, mit welcher sich der Elektromagnet bewegt;

2) der Stärke m' der Elektromagnete;

3) der Windungszahl β.

Bezeichnet nun m' die Stärke des Magnetismus der Elektromagnete, und i' die Stromstärke, während die Maschine im Gang ist, so ist

$$m' = \beta i' \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (4)$$

und die durch die Bewegung eingetretene Stromschwächung

$$i - i' = \beta . m' v \gamma,$$

wo γ irgend einen constanten Coëfficienten bezeichnet. Daraus aber ergiebt sich

$$v = \frac{i - i'}{\beta m' \gamma}$$

oder, wenn wir für i seinen Werth bei (1) setzen:

$$v = \frac{\frac{n e}{\varrho} - i'}{\beta^2 i' \gamma} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (5).$$

Die Kraft, mit welcher die Elektromagnete sich anziehen oder abstoßen, ist aber

$$R' = m'^2 = \beta^2 i'^2 \quad \ldots \ldots \ldots \quad (6).$$

Die Bedeutung des Werthes $R' =$ bedarf nun zunächst noch einiger Erläuterung.

Die Kraft, mit welcher die Magnetpole auf einander wirken, ist keineswegs eine beständige Größe, sie ist nämlich von der Entfernung der Pole abhängig und variirt also während jeder Umdrehung innerhalb gewisser, von der Eigenthümlichkeit der Maschine abhängiger Gränzen. Dies hindert jedoch nicht, daß die Maschine in einen nahezu gleichförmigen Lauf kommt, und während desselben wird ein bestimmter gleichförmiger Bewegungswiderstand überwunden, welcher theils von der angehängten Last, theils von dem Reibungswiderstande in der Maschine und dem Luftwiderstande berührt. Dieser gleichförmige Bewegungswiderstand nun, welchen die Maschine überwindet, ist gleich der mittleren Kraft, mit welcher die Magnetpole auf einander wirken. In den Momenten, in welchen die Pole mit größerer Kraft auf einander wirken, tritt eine Beschleunigung ein, während in den Zeittheilen, in welchen die Pole mit geringerer Kraft auf einander wirken, eine Verzögerung erfolgt.

Diese mittlere Kraft nun, welche der Summe aller Widerstandskräfte gleich ist, die von der Maschine überwunden werden, soll mit R' bezeichnet werden.

Aus der Vergleichung der Formeln (5) und (6) ergiebt sich zunächst das wichtige Resultat, daß bei unveränderter Stromstärke, also bei unverändertem Werth von i' durch Vermehrung der Windungszahl β für den mechanischen Effect der Maschine nichts gewonnen werden kann.

Der mechanische Effect der Maschine ist nämlich dem Product $R'v$ proportional; aus diesem Product aber verschwindet β vollständig, denn in demselben Maaße, wie R' durch Vergrößerung von β zunimmt, nimmt auch v ab, denn im Werthe von R steht β^2 im Zähler, im Werthe von v steht es im Nenner. Für den mechanischen Effet erhalten wir den Werth:

$$T = R'v = \frac{i'\left(\frac{ne}{\varrho} - i'\right)}{\gamma} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7).$$

T wird gleich Null, wenn $i' = \frac{ne}{\varrho}$, d. h. wenn der Strom den Werth von i in Gleichung (1) erreicht; für diesen Fall wird der Werth von R' gleich dem von R in Gleichung (3), während $v = 0$ wird. Ferner wird $T = 0$, wenn $i' = 0$ ist, wo dann $R = 0$ und $v = \infty$ wird. Zwischen diesen Gränzwerthen von i', nämlich $i' = 0$ und $i' = \frac{ne}{\varrho}$, muß es nun offenbar einen Werth von i' geben, für welchen T ein Maximum wird. Ein bekannter Satz der Mathematik lehrt, daß das Product $x\,(a - x)$ ein Maximum wird, wenn $x = {}^1/_2 a$. Wenden wir dies auf unsern Fall an, so ist klar, daß T ein Maximum sein wird, wenn

$$i' = \frac{ne}{2\varrho} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8),$$

daß man also ein Maximum des mechanischen Effects erhält, wenn man die Belastung der Maschine so regelt, daß die Stärke des Stromes, welcher den rotirenden Apparat durchläuft, gerade halb so groß ist, als die Stromstärke sein würde, wenn man die Maschine anhielte.

Für dieses Maximum des mechanischen Effects erhält man

$$T_0 = \frac{n^2 e^2}{4\varrho^2\gamma} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9).$$

wobei sich für die entsprechenden Werthe des Druckes und der Geschwindigkeit ergiebt

$$R_0 = \frac{\beta^2 n^2 e^2}{4\,\varrho^2}$$

und

$$v_0 = \frac{1}{\beta^2\gamma}.$$

Es ist zu beachten, daß die Formel (9) nicht den reinen Nutzeffect ausdrückt, da T_0 die Gesammtarbeit der Maschine bezeichnet, welche aus der Summe des reinen Nutzeffects und der beim Lauf der Maschine zu überwindenden Bewegungs-Hindernisse, der Reibung u. s. w. besteht.

Die obigen Betrachtungen gelten allgemein für alle elektromagnetischen Motoren, welches auch übrigens ihre Construction sein mag; von den specifischen Eigenthümlichkeiten derselben hängt nur der Factor γ ab, dessen numerischer

Werth bis jetzt für die verschiedenen Formen der elektromagnetischen Maschinen noch zu ermitteln ist, woraus sich denn auch ergeben wird, welche derselben die vortheilhafteste ist. Soviel ist nun jedenfalls nachgewiesen, daß einer bestimmten Stromstärke auch ein bestimmtes theoretisches Maximum des mechanischen Effectes zukommt, dem wir uns durch Vervollkommnung der Apparate mehr und mehr nähern können, so wie ja auch durch bessere Dampfmaschinen nur eine vollständigere Benutzung der Dampfkraft erzielt wird, ohne daß man dabei je über gewisse Gränzen hinauskommen kann. Bei sonst gleicher Construction der Maschine aber kann die Vergrößerung der Dimensionen und die Vermehrung der Drahtwindungen durchaus nicht anders wirken, als eine vermehrte Uebersetzung bei einem Räderwerk.

Zur Prüfung und Erläuterung der Jacobi'schen Theorie habe ich eine Versuchsreihe angestellt, welche die in folgender Tabelle zusammengestellten Resultate gab.

Angehängte Gewichte.	Ueberwundener Widerstand in Pfunden.	Zeit, welche zu 6 Fuß Hebung erforderlich war.	Mechanischer Effect pro Minute in Fußpfund.	Ablenkung der Tangentenbussole.
0	1,3	14 Secund.	5,5	12,5°
Wagschale = 0,9Pf.	2,2	24 »	5,5	22,5
0,9 + 2	4,2	50 »	5,0	27,5
0,9 + 3	5,2	162 »	1,9	29,75

Die Maschine, welche zu diesen Versuchen angewandt wurde, war eine Stöhrer'sche von der auf Seite 311 besprochenen Construction. Der Strom wurde durch eine Säule von drei doppelten Zinkkohlenbechern erzeugt und in den Schließungsbogen, in gehöriger Entfernung von dem elektromagnetischen Motor die Tangentenbussole eingeschaltet. Als die Maschine still gehalten wurde, war die Ablenkung 32,5°; als man die Maschine laufen ließ, ohne etwas an die Schnur anzuhängen, ging die Nadel der Tangentenbussole auf 12,5° zurück. Als eine hölzerne Wagschale von 0,9 Pfund Gewicht angehängt wurde, rotirte die Maschine langsamer und die Nadel stellte sich bei 22,5° ein.

Als noch Gewichte auf die Wagschale gelegt wurden, wurde die Umdrehung noch langsamer, während die Stromstärke zunahm, wie man aus der Tabelle ersieht.

Durch vorläufige Versuche war ermittelt worden, daß die Widerstände, welche bei der Rotation der unbelasteten Maschine zu überwinden sind, ungefähr einem an der Welle angehängten Gewicht von 1,3 Pfund gleichgesetzt werden müssen. Addiren wir diese 1,3 Pfund zu der jeweils angehängten Last, so erhalten wir annäherungsweise die Summe der überwundenen Widerstände, wie sie in der zweiten Columne obiger Tabelle angeführt sind. Die Zahlen sind jedoch nur als eine erste, für unsern Zweck aber ausreichende Annäherung zu

betrachten, denn die Reibungswiderstände wachsen ja, wenn schwerere Gewichte angehängt werden; zu den größeren Belastungen müßte also eigentlich mehr als 1,3 Pfund addirt werden.

Im Uebrigen bedarf wohl die Tabelle keiner weiteren Erläuterung.

Nach Jacobi's Theorie muß man das Maximum des mechanischen (Brutto-) Effectes erhalten, wenn die Belastung so regulirt wird, daß bei rotirendem Apparat die Stromstärke halb so groß ist, als wenn der Apparat arretirt wird. Da *tang.* 32,5° gleich 0,64 ist, so ist also 0,32 die trigonometrische Tangente des Winkels, um welchen die Nadel der Tangentenbussole für den Fall des Maximums an mechanischem Effect abgelenkt werden muß; dieses Maximum haben wir also zu erwarten, wenn die Nadel eine Ablenkung von 17,75 Graden zeigt.

Dies stimmt nun mit obigen Versuchen ganz gut überein; nach diesen haben wir das Maximum des Effectes bei einer Stromstärke zu erwarten, für welche die Ablenkung der Nadel ungefähr in der Mitte zwischen 12,5° und 22,5° liegt, also 17,5°, beträgt. Aus dieser Versuchsreihe ergiebt sich aber, daß das Maximum des mechanischen Effectes nur unbedeutend größer sein kann, als 5,5 Fußpfund pr. Minute. Nehmen wir als erste Annäherung 5,6 Fußpfund, oder was dasselbe ist, 0,93 Fußpfund in der Sekunde an, so ist also für unseren Fall das Maximum des mechanischen (Brutto-) Effectes nicht ganz $^1/_{500}$ Pferdekraft.

Die Stromstärke, welche diesen Effect hervorbringt, ist $0{,}32 . 70 = 2{,}24$; zur Erhaltung dieser Stromstärke ist aber in den drei Zellen eine Consumtion an Zink und Säure erforderlich, welche einer Entwickelung von $3 . 22{,}4 = 67{,}2$ Kubikcentimetern Knallgas in der Minute, oder 4032 Cubikcentimetern, gleich 2,096 Gramm in der Stunde, was einer Zinkconsumtion von 7,6 Gramm Zink in der Stunde entspricht. Bedenkt man nun, daß damit noch nicht $^1/_{500}$ Pferdekraft erzeugt wird, daß außer dem Zink auch noch Schwefelsäure und Salpetersäure consumirt wird; ferner daß der obige Effect nur der Bruttoeffect, daß der wirklich nutzbare Effect noch weit geringer ist, so wird man wohl zugeben müssen, daß die elektromagnetische Triebkraft eine ungemein kostspielige ist. — Wenn der Amerikaner Page neuerdings behauptet, daß für seine Apparate die elektromagnetische Triebkraft weniger kostspielig sei als die Dampfkraft, so möge es uns einstweilen erlaubt sein, an der Wahrheit dieser Behauptung zu zweifeln, bis er durch nüchterne Zahlenangaben nachweist, daß er sich nicht getäuscht habe.

Elektrische Telegraphie. Bereits in der letzten Hälfte des vorigen 121
Jahrhunderts hatte man Versuche gemacht, die Reibungselektricität zum Telegraphiren zu benutzen, nachdem man sich von der großen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität überzeugt hatte. Alle nach dieser Seite hin gerichteten Bestrebungen scheiterten aber an der Unbeständigkeit der Elektrisirmaschine, ihrer Abhängigkeit von dem Feuchtigkeitszustande der Luft, der Schwierigkeit einer genügenden Isolirung der Leitungsdrähte u. s. w.

Bald nach Entdeckung des Galvanismus und der Volta'schen Säule versuchte man, den galvanischen Strom zur Telegraphie zu benutzen. Sömmering wollte die galvanische Wasserzersetzung zur Zeichengebung benutzen, und später hat Vorßelmann de Heer die physiologischen Wirkungen des Stromes zu gleichem Zweck in Vorschlag gebracht.

Eine wirklich praktische Richtung nahmen die Versuche zur elektrischen Telegraphie erst nach der Entdeckung des Elektromagnetismus. Die Ablenkung von Multiplicatornadeln durch den galvanischen Strom wurde alsbald zu dem fraglichen Zweck in Vorschlag gebracht und versucht; allein erst Gauß und Weber haben im Jahre 1833 einen derartigen Apparat im Großen ausgeführt. Die Leitungsdrähte waren zwischen dem physikalischen Cabinet und der Sternwarte zu Göttingen über die Häuser der Stadt hin ausgespannt worden. Der Observationsapparat auf der einen Station bestand aus einem Gauß'schen Magnetometer, dessen Stab mit zahlreichen Multiplicatorwindungen umgeben war, welche die Schließung der Zuleitungsdrähte auf dieser Seite bildeten. Indem nun auf der anderen Station ein momentaner Strom in der einen oder anderen Richtung erzeugt wurde, machte der Magnetstab eine durch das Fernrohr zu beobachtende Zuckung nach der rechten oder nach der linken Seite.

Durch Combination dieser zwei Elementarzeichen (Ausschlag rechts und Ausschlag links) wurde das Alphabet gebildet.

Es waren nicht gewöhnliche galvanische Ströme, welche hier in Anwendung gebracht wurden, sondern Inductionsströme, wie wir sie im nächsten Capitel werden kennen lernen.

Zunächst machte sich nun Steinheil um die Vervollkommung der elektrischen Telegraphie verdient. Bei den Versuchen, die er im Sommer 1838 auf der Nürnberg-Fürther Eisenbahn anstellte, machte er die folgenreiche Entdeckung, daß das Erdreich selbst sich als Leiter für den Strom benutzen lasse, daß man also nur einen Leitungsdraht nöthig hat, indem die Rückleitung des Stromes durch den Erdboden erfolgt. Auf welche Weise der Erdboden zur Stromleitung benutzt wird, werden wir weiter unten sehen.

Unter allen Formen des elektrischen Telegraphen hat sich der Morse'sche Drucktelegraph als die praktischste bewährt, weshalb wir diese im nächsten Paragraphen ausführlicher besprechen wollen.

122 **Der Drucktelegraph.** Bereits im Jahre 1832 kam der Amerikaner Morse auf den Gedanken, Elektromagnete zur Telegraphie zu benutzen; aber erst nach vielen mühevollen Versuchen kam er zum Ziele und im Jahre 1837 wurde die Einrichtung seines Drucktelegraphen bekannt gemacht. Er zeichnet sich durch große Einfachheit aus und hat vor den übrigen Telegraphen den großen Vortheil voraus, daß er nicht bloß vorübergehende Zeichen giebt, sondern ein bleibendes Actenstück liefert. Diese Telegraphen sind fast in ganz Deutschland, der Schweiz und in Nordamerika eingeführt, und es ist kaum zu zweifeln, daß dieses Princip in kurzer Zeit alle übrigen verdrängen wird.

Fig. 288 (a. f. S.) stellt den Morse'schen Schreibapparat in $^1/_2$ der natürlichen Größe dar. Auf einer eisernen Platte *a* sind zwei Stäbchen von Eisen befestigt, welche, mit den Magnetisirungsspiralen *b* umgeben, einen Hufeisenmagneten bilden. Ueber den Polen schwebt in einiger Entfernung der Eisenstab *c*, welcher in dem Messinghebel *d* steckt. Sobald die Eisenkerne magnetisch werden, wird das rechte Ende des Hebels *d* niedergezogen; wenn die Eisenkerne ihren Magnetismus verlieren, so wird der Hebel durch eine an einem Seitenarm des Hebels *d* ziehende Feder *f* in seine alte Stellung zurückgezogen.

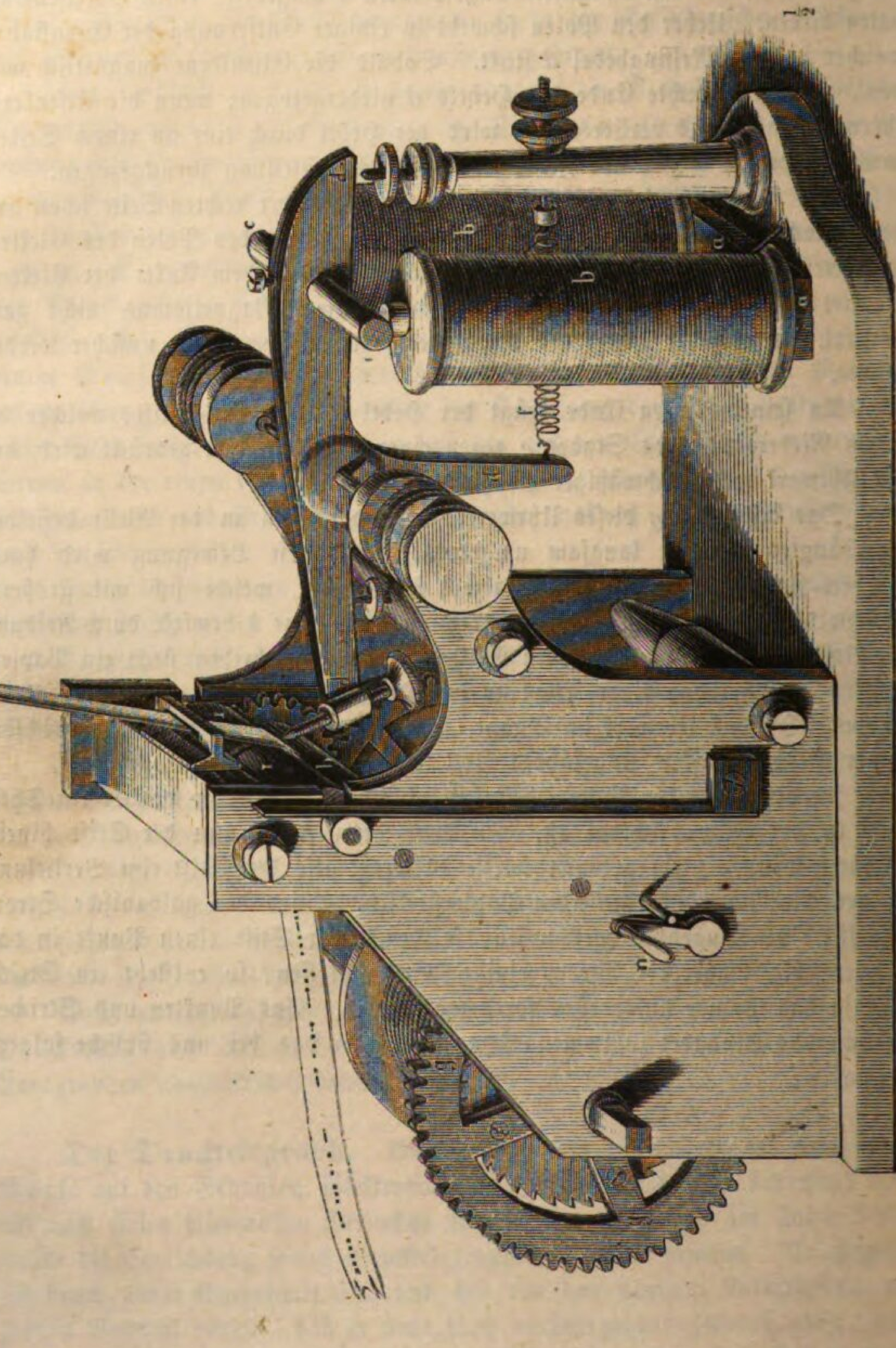
Der Hebelarm *d* schlägt mit seinem Ende auf der rechten Seite schon auf, bevor noch der Anker *c* vollständig in Berührung mit den Polen des Elektromagneten gekommen ist, weil bei vollkommen anliegendem Anker der Elektromagnet nach Unterbrechung des Stromes seinen Magnetismus nicht ganz verliert, wodurch der Gang des Apparates sehr erschwert und unsicher werden würde.

An seinem linken Ende trägt der Hebel *d* einen Stahlstift, welcher bei jedem Niedergange des Stabes *c* gegen einen Papierstreifen gedrückt wird, den ein Uhrwerk mit gleichmäßiger Geschwindigkeit fortzieht.

Das erste Rad *g* dieses Uhrwerkes wird durch ein an der Welle desselben angehängtes Gewicht langsam umgedreht, und diese Bewegung wird durch mehrere Zwischenräder auf die Walze *h* übertragen, welche sich mit größerer Geschwindigkeit umdreht. Die Umdrehung der Walze *h* bewirkt durch Reibung die Umdrehung der gleich großen Walze *i*. Zwischen beiden steckt ein Papierstreifen, welcher von einer, etwa an der Decke des Zimmers befestigten Rolle kommt. Ist das Uhrwerk im Gange, so wird der Papierstreifen mit gleichförmiger Geschwindigkeit, ungefähr 1 Zoll in der Secunde fortgezogen.

In der Mitte der Rolle *i* befindet sich eine Rinne, von welcher ein Theil noch in der Figur sichtbar ist. In diese Rinne wird nun der Stift hinein gedrückt, wenn *c* niedergezogen wird; es preßt also der Stift eine Vertiefung in den die Rinne überdeckenden Papierstreifen. Wird der galvanische Strom nur für einen Augenblick geschlossen, so drückt der Stift einen Punkt in das Papier, bleibt aber der Strom einige Zeit geschlossen, so entsteht ein Strich, weil ja das Papier unterdessen fortgezogen wird. Aus Punkten und Strichen ist nun das Alphabet zusammengesetzt, und zwar das bei uns übliche folgendermaßen:

Fig. 288.

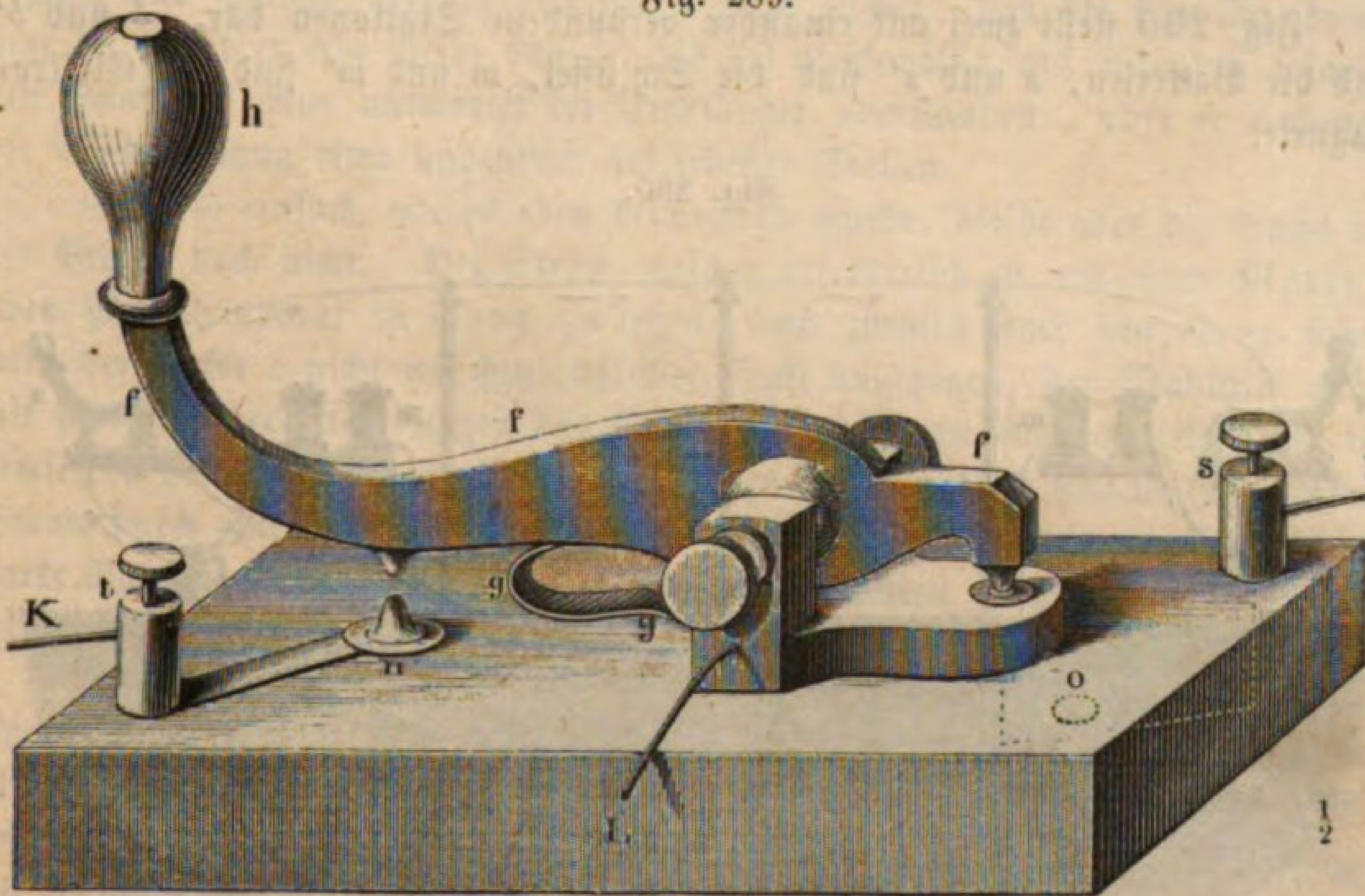


a · —	k — · —	t —
b — · · ·	l · — · ·	u · · —
c — · — ·	m — —	v · · · —
d — · ·	n — ·	w · — — ·
e ·	o · — · · ·	x · · — · · ·
f · · — ·	p · · · · ·	y — — · · ·
g — — ·	q — — · —	z · — — · ·
h · · · ·	r · — ·	
i · ·	s · · ·	

Aehnliche Zeichen hat man für Zahlen, Punctum, Fragezeichen u. s. w.

Zum sicheren Schließen und Oeffnen der Kette dient ein Apparat, der auch hier den Namen des Schlüssels führt. Der Schlüssel des Morse'schen Apparates ist Fig. 289 in $1/2$ der natürlichen Größe abgebildet. Auf einem

Fig. 289.



Brettchen ist eine Messingplatte befestigt, welche zu beiden Seiten prismatische Erhöhungen hat, in welchen die horizontale stählerne Axe sich befindet, um welche der messingene Hebel *f* sich drehen kann. Dieser Hebel wird durch eine Stahlfeder *g* nach vorn gedrückt, so daß die vordere Spitze desselben auf einem Messingstückchen aufsitzt, welches von der übrigen Platte isolirt und unterhalb, wie durch punktirte Linien angedeutet ist, mit dem Messingsäulchen *s* in leitender Verbindung steht. Drückt man den Hebel, am Handgriff *h* anfassend, nieder, so kommt er mit der Spitze des Messingkegels *n* in Berührung, während die vordere Spitze des Hebels nun in die Höhe gehoben ist, also nicht mehr mit dem Säulchen *s* in leitender Verbindung steht.

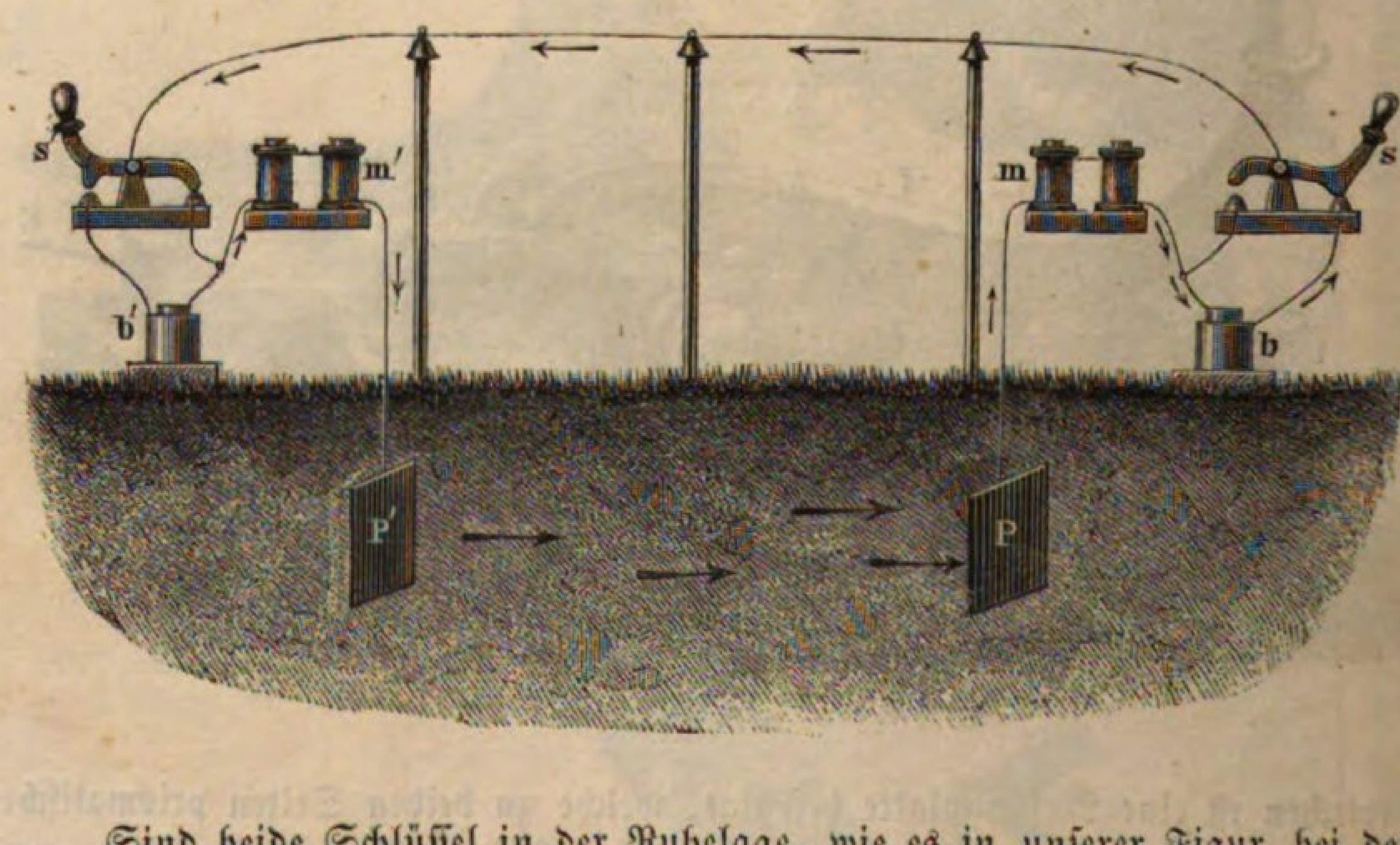
Der kleine Messingkegel *n* ist durch einen Messingstreifen mit dem Säulchen *t* leitend verbunden.

Die Messingplatte, an welcher die Axenträger des Hebels *f* angebracht sind, ist mit dem Leitungsdrahte verbunden, welcher zu der nächsten Station führt. In der Regel ist aber der Draht nicht so in der Platte befestigt, wie es die Zeichnung darstellt, sondern es befindet sich ein Messingsäulchen bei *o*, welches durch einen Messingstreifen mit dem Messinggestell verbunden ist. Dieses Säulchen ist nur deshalb in der Zeichnung weggelassen worden, weil es den vorderen Theil der Platte und des Hebels verdeckt hätte. In dieses Säulchen *o* ist dann das Ende des Leitungsdrahtes eingeschraubt.

Von *t* führt ein Draht zu dem einen Pol, etwa dem Kupferpol der galvanischen Batterie. Von *s* geht ein Draht aus, der sich alsbald spaltet, indem der eine Theil zum Zinkpol der Batterie, der andere zu den Windungen des Elektromagneten führt, deren anderes Ende mit der Erdplatte verbunden ist.

Fig. 290 stellt zwei mit einander verbundene Stationen dar. *b* und *b'* sind die Batterien, *s* und *s'* sind die Schlüssel, *m* und *m'* sind die Elektromagnete.

Fig. 290.



Sind beide Schlüssel in der Ruhelage, wie es in unserer Figur bei dem Schlüssel der Station links der Fall ist, so kann kein Strom entstehen, denn bei dem Messingkegel *n* (Fig. 289) findet sich eine Unterbrechung der Leitung. Wird aber der Schlüssel auf einer Station niedergedrückt, wie es in unserer Figur für die Station rechts der Fall ist, so ist der Schließungsbogen für die Batterie dieser Station hergestellt, der Strom geht vom positiven Pol der Batterie *b* durch den Schlüssel *s* zum Leitungsdraht, welcher den Strom zum Schlüssel *s'* der anderen Station führt; von diesem gelangt der Strom zu den Windungen des Elektromagneten *m'*, zur Erdplatte *P'*, geht dann durch den

Erdboden über P und m zum negativen Pol von b zurück, wie denn dieser Lauf des Stromes durch die Pfeile hinlänglich bezeichnet ist.

So umkreist denn der auf der Station b erzeugte Strom die Elektromagnete beider Stationen; die Batterie b' der anderen Station ist nicht geschlossen, kann also keinen Strom aussenden.

Will der Telegraphist der einen Station, etwa der rechten, eine Depesche abgehen lassen, so drückt er mehrmals rasch hinter einander seinen Schlüssel nieder, wodurch ein abwechselndes An- und Abziehen der Anker beider Elektromagnete erfolgt. Das dadurch hervorgebrachte Klappern macht den Telegraphisten der anderen Station aufmerksam, welcher nun, nachdem er auf ähnliche Weise geantwortet hat, sein Uhrwerk mittelst des kleinen Hebels n (Fig. 288) auslöst und seinen Streifen laufen läßt. Der Telegraphist der sprechenden Station drückt nun in den gehörigen Intervallen seinen Schlüssel nieder, um dadurch auf dem Papierstreifen der anderen Station die beabsichtigten Zeichen, Punkte und Striche, hervorzubringen. Zum Zeichen, daß die Depesche beendigt ist, macht er eine Reihe von 20 bis 30 gleichmäßig auf einander folgenden Punkten. Nun antwortet der Empfänger »verstanden«, oder er verlangt die Wiederholung etwa undeutlich gebliebener Stellen.

Ganz so einfach, wie es eben beschrieben wurde, bleibt aber die Sache in der Praxis doch nicht. Der Strom, welcher erforderlich ist, um einen Morse'schen Schreibapparat in Gang zu setzen, muß ziemlich stark sein, denn sonst wird der Anker c nicht mit hinlänglicher Kraft angezogen, der Stahlstift nicht mit hinlänglicher Kraft gegen das Papier gedrückt, um sichtliche Eindrücke in demselben hervorzubringen; um aber einen zu diesem Zweck hinlänglich starken Strom durch eine so lange Drahtleitung zu senden, müßte man eine übermäßig starke Batterie anwenden. Um mit mäßigen Batterien auszureichen, hat man folgende sinnreiche Einrichtung getroffen.

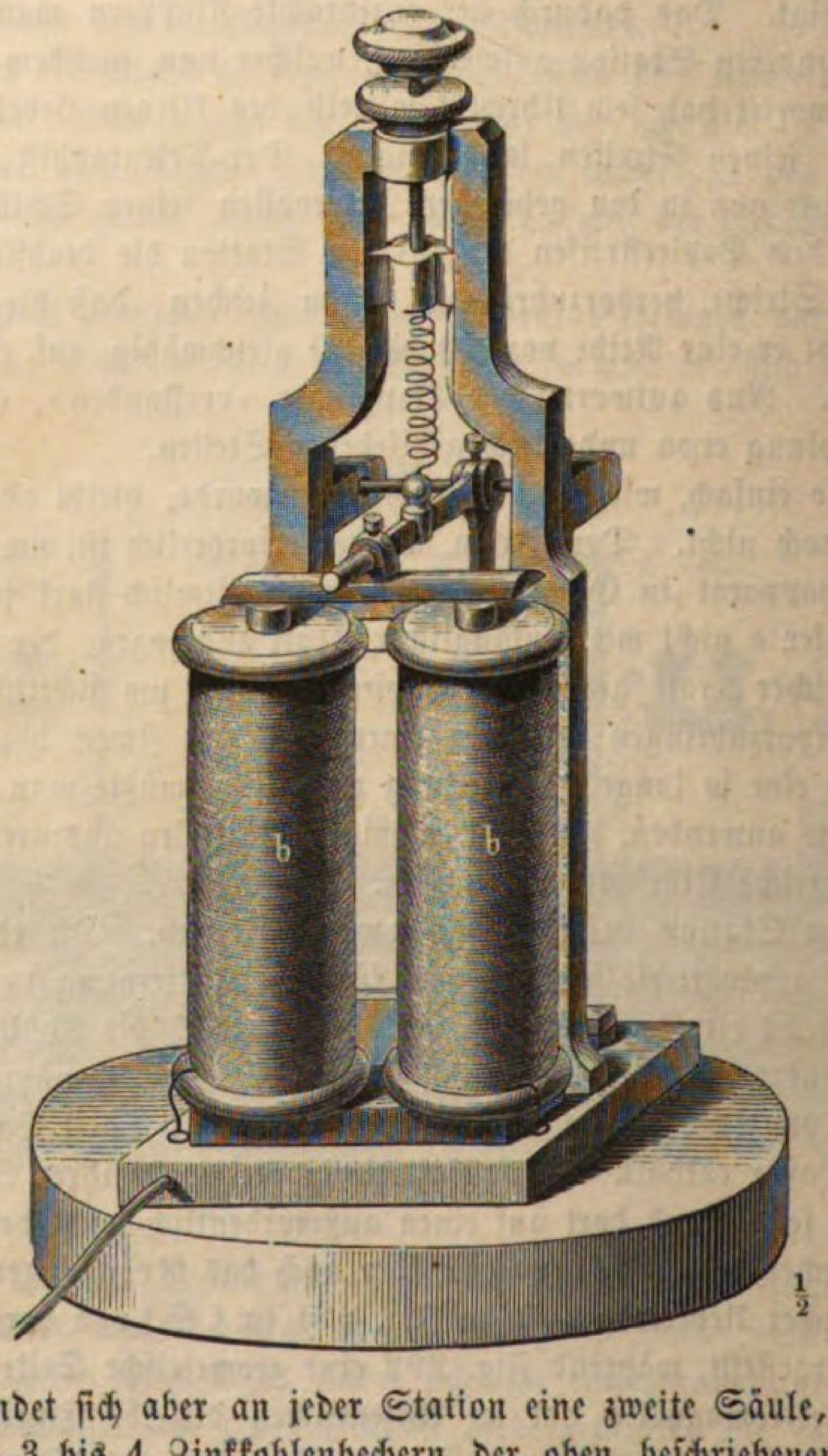
An jeder Station befinden sich zwei Batterien. Die eine, welche den Namen der Hauptbatterie führt, besteht für eine Entfernung von ungefähr 10 Meilen aus sechs Zinkkohlenbechern, bei denen jedoch die Kohle nicht in Salpetersäure, sondern in Wasser mit $^1/_{10}$ Schwefelsäure steht, während die Flüssigkeit in der Thonzelle, welche das Zink aufnimmt, 1 Theil Schwefelsäure auf 30 Theile Wasser enthält. Diese Batterie ist es, welche ihren Strom zur nächsten Station sendet und dort auf einen außerordentlich leicht beweglichen Apparat wirkt, wecher der Uebertrager oder auch das Relais genannt wird.

Ein solcher Uebertrager ist in Fig. 291 (a. f. S.) von vorn gesehen, perspectivisch dargestellt, während Fig. 292 eine geometrische Seitenansicht zeigt.

Der Elektromagnet b hat im Wesentlichen dieselbe Einrichtung wie der am Schreibapparat Fig. 288, nur sind die Spiralen aus dünnerem Draht gebildet und haben deshalb mehr Windungen. Der unten flache Anker steht dem Eisenkerne ziemlich nahe; er ist an einem rechtwinklig gebogenen eisernen Hebel h befestigt, dessen Drehungsaxe durch ein messingenes Gestell getragen wird. Dieser Hebel nun wird durch eine Feder, wie man Fig. 291 sieht, in die Höhe gezogen, und dadurch sein unteres Ende gegen die Spitze des Schraubenkopfes

s angedrückt. Sobald ein Strom die Spirale durchläuft, wird der Anker niedergezogen und das untere Ende des Hebels *h* gegen die Schraube *t* gedrückt, noch ehe der Anker mit den Eisenkernen in Berührung kommt. Der Spielraum für den Hebel ist außerordentlich klein; da nun ferner der Hebel sehr leicht beweglich ist, und der Anker den Eisenkernen sehr nahe steht, so reicht schon ein sehr schwacher, die Spirale durchlaufender Strom hin, um diese Bewegung hervorzubringen.

Fig. 291.

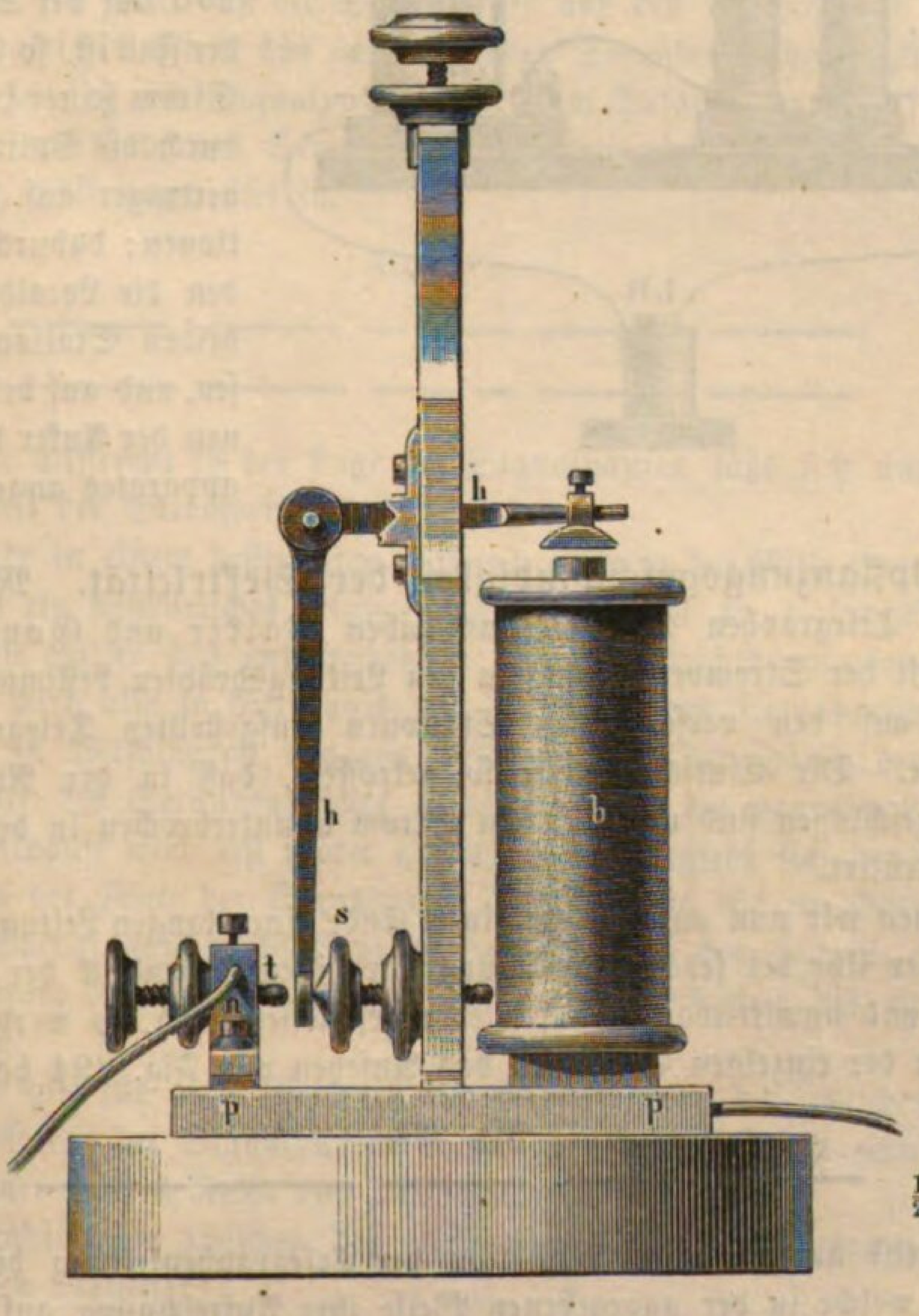


Nun befindet sich aber an jeder Station eine zweite Säule, die **Localbatterie**, aus 3 bis 4 Zinkkohlenbechern der oben beschriebenen Einrichtung bestehend, in deren Schließungsbogen der Schreibapparat eingeschaltet ist; die eben besprochene Bewegung des Hebels *h* dient nur dazu, diese Kette zu schließen und wieder zu öffnen.

Von dem einen Pole, etwa dem positiven der Localbatterie, geht nämlich ein Draht zur Messingplatte *p*, mit welcher der Hebel *h* in leitender Verbin-

dung steht. Der kleine Messingpfeiler *n* aber, welcher durch eine Unterlage von Elfenbein oder Holz vor der leitenden Berührung mit *p* geschützt ist, und in welchem die Schraube *t* steckt, ist durch einen Leitungsdraht mit dem einen Drahtende der Spirale des Schreibapparates verbunden, von deren anderem Ende ein Draht zum negativen Pole der Localbatterie führt. Man sieht, daß die Localbatterie nicht geschlossen ist, so lange kein Strom durch die Spiralen des Uebertragers geht, weil sich eine Unterbrechungsstelle zwischen der mit dem negativen Pol verbundenen Schraube *t* und dem mit dem positiven Pole ver-

Fig. 292.

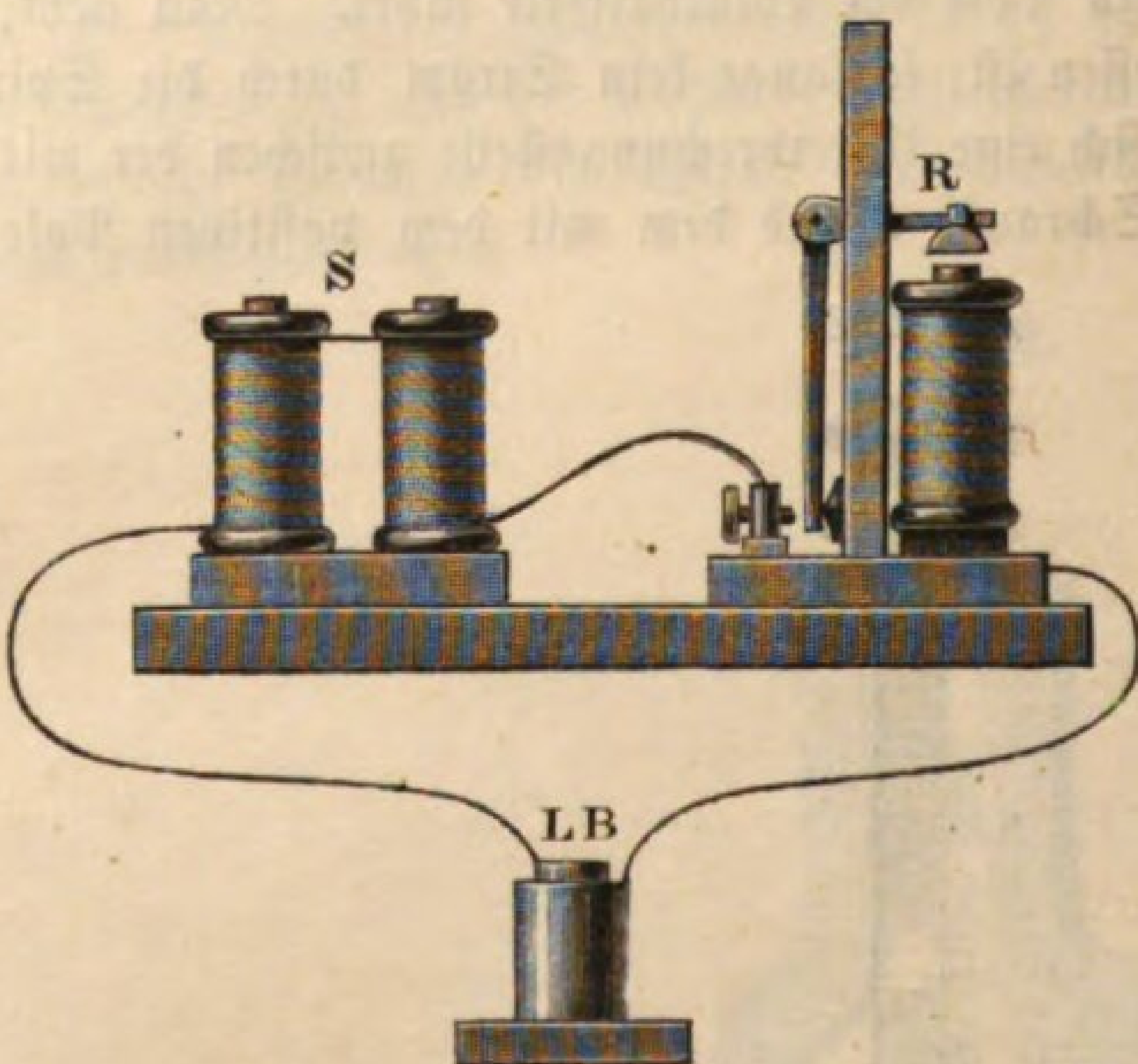


bundenen Hebel *h* befindet. Sobald aber die Spiralen des Uebertragers durchströmt werden, findet die Schließung der Kette bei *t* Statt, und nun wird auch der Schreibapparat von dem Strome der Localbatterie durchflossen, der natürlich sehr kräftig ist, weil er außer den Windungen der Spiralen nur eine ganz unbedeutende Drahtlänge zu durchlaufen hat.

Fig. 293 (a. f. S.) stellt schematisch die Verbindung des Schreibapparates mit der Localbatterie und dem Uebertrager dar.

Die Bedeutung der Fig. 290 wird nun durch Einführung des Uebertragers eine etwas andere; *m* und *m'* stellen nämlich nicht, wie anfangs angenommen wurde, die Elektromagnete der Schreibapparate an beiden Stationen, sondern die Elektromagnete der beiden Uebertrager dar.

Fig. 293.



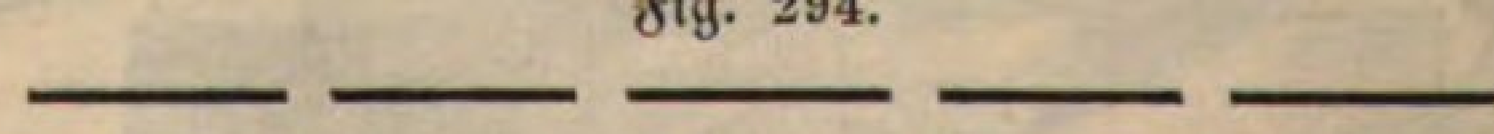
Sobald der Telegraphist einer Station den Schlüssel niederdrückt, wie es in Fig. 290 auf der Station rechts der Fall ist, so sendet er den Strom seiner Hauptbatterie durch die Spiralen der Uebertrager auf beiden Stationen; dadurch aber werden die Localbatterien auf beiden Stationen geschlossen, und auf beiden Stationen der Anker des Schreibapparates angezogen.

123 **Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität.** Mit Hülfe der elektrischen Telegraphen Nordamerikas haben Walker und Gould die Geschwindigkeit der Stromverbreitung in den Leitungsdrähten bestimmt.

Die auf den verschiedenen Stationen aufgestellten Telegraphen sind Morse'sche. Die Einrichtung ist so getroffen, daß in der Ruhelage alle Schlüssel geschlossen sind und also ein Strom ununterbrochen in den Leitungsdrähten circulirt.

Nehmen wir nun an, daß am einen Ende einer langen Leitung durch das Pendel einer Uhr bei jeder Schwingung für einen Augenblick der Strom unterbrochen und unmittelbar darauf wieder geschlossen wird, so werden die Aufzeichnungen der einzelnen Stationen das Ansehen von Fig. 294 haben:

Fig. 294.



Während nun an einer Endstation der Telegraphenleitung die Uhr aufgestellt ist, welche in der angegebenen Weise ihre Aufzeichnung auf allen Stationen macht, wird auf der anderen Endstation mittelst des Schlüssels durch Unterbrechung der Leitung von Zeit zu Zeit ein willkürliches Signal gegeben. Durch dieses willkürliche Unterbrechen des Stromes wird nun auf allen Stationen in dem entsprechenden Secundenstriche eine Unterbrechung entstehen, welche wir die Signalpause nennen wollen, während der Zwischenraum zwischen je zwei Secundenstrichen die Uhrpause genannt werden soll.

Bei den Versuchen vom 4. Februar 1850 war die Uhr in Washington

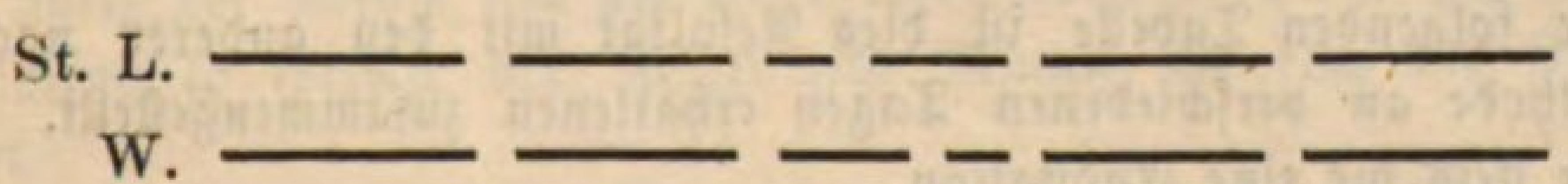
aufgestellt, während die willkürlichen Unterbrechungen in St. Louis gemacht wurden.

Um leichter auffinden zu können, welches die entsprechenden Secundenstriche der verschiedenen Stationen sind, war die Einrichtung getroffen, daß zu Anfang jeder Minute eine Uhrpause ausblieb.

Wegen des ungleichen Ganges der verschiedenen Telegraphen fällt nun freilich die Länge der Secundenstriche, der Uhr- und der Signalpausen nicht auf allen Stationen ganz gleich aus, es ist jedoch leicht, sie auf gleiche Länge zu reduciren.

Es fand sich nun, daß die Signalpause auf den verschiedenen Stationen nicht an der gleichen Stelle des entsprechenden Secundenstriches markirt wurde, in St. Louis lag die Signalpause näher am Anfang, in Washington lag sie näher am Ende des Striches, welcher der gleichen Secunde angehört, wie dies Fig. 295 angedeutet ist.

Fig. 295.



Aus der Differenz in der Lage der Signalpausen läßt sich nun auf die Geschwindigkeit der Stromverbreitung schließen.

Es werde in einem bestimmten Moment, etwa in der Mitte einer Secunde, in St. Louis ein willkürliches Signal gegeben, so ist in diesem Augenblicke noch nicht die Hälfte des entsprechenden Secundenstriches angekommen, die Signalpause wird also in St. Louis vor der Mitte des Secundenstriches aufgezeichnet. In Washington dagegen wird zwar in der Hälfte der Secunde auch die Mitte des Secundenstriches gemacht, allein die von St. Louis kommende Signalpause wird erst später notirt, und so ergiebt sich denn, daß die Differenz von der Mitte der Signalpause in St. Louis bis zur Mitte der entsprechenden Signalpause in Washington das Doppelte der Zeit ist, welche der elektrische Strom braucht, um sich von der einen Endstation bis zur anderen fortzupflanzen.

Dasselbe gilt für die Differenzen der Signalpausen der Zwischenstationen.

Die Differenz der Signalpausen wurde natürlich nicht aus einer, sondern als Mittel einer ganzen Reihe von Beobachtungen bestimmt.

Die Drahtlängen zwischen den verschiedenen Stationen waren folgende (nach englischen Meilen):

Washington				
288	Pittsburg			
622	334	Cincinnati		
747	459	125	Louisville	
1036	748	414	289	St. Louis.

Als die Signale in St. Louis gegeben wurden, ergaben sich folgende Differenzen zwischen den Aufzeichnungen von Washington und den anderen Stationen:

Aufzeichnung.	Zahl der Beobachtungen.	Intervall.	Geschwindigkeit.
Pittsburg	37	0,0373″	15 442 Meilen
Cincinnati	46	0,0844	14 748 „
Louisville	46	0,1163	12 846 „
St. Louis	36	0,1108	13 484 „

Ebenso wurden die Differenzen der Signalpausen bestimmt, als die willkürliche Unterbrechung an den verschiedenen Zwischenstationen gemacht wurde.

Als Mittel aus sämmtlichen an diesem Tage gemachten Beobachtungen ergab sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des elektrischen Stromes gleich 14900 englische Meilen.

In der folgenden Tabelle ist dies Resultat mit den anderen nach der gleichen Methode an verschiedenen Tagen erhaltenen zusammengestellt. Washington war stets die eine Endstation.

Datum.	Endstation.	Geschwindigkeit.
23. Januar 1849 . . .	Cambridge	18 000
31. October 1849 . . .	Cincinnati	18 330
4. Februar 1850 . . .	St. Louis	14 900
5. Februar 1850 . . .	Charleston	16 856

Als Mittelwerth ergiebt sich daraus eine Geschwindigkeit von 17021 englische Meilen in der Secunde.

Nach Wheatstone's sinnreichem Versuch (S. 148) ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität 288000 englische Meilen in der Secunde also ungefähr 18mal größer, als nach den amerikanischen Versuchen.

Wheatstone's Leitung war durch Kupferdrähte gebildet, welche 1,7^{mm} Durchmesser hatten, während zur amerikanischen Telegraphenleitung Eisendraht von 3^{mm} Durchmesser verwendet worden war. Der specifische Leitungswiderstand des Eisens ist 6mal so groß als der des Kupfers, dagegen hatten die amerikanischen Drähte einen ungefähr 3mal größeren Querschnitt als jene; bei gleicher Länge war daher der Leitungswiderstand der amerikanischen Leitung nahezu doppelt so groß, als beim Wheatstone'schen Versuch; auf die Ungleichheit des Leitungswiderstandes läßt sich also der bedeutende Unterschied der Wheatstone'schen und Walker'schen Resultate nicht zurückführen, man muß also wohl annehmen, daß dieser Unterschied wesentlich dadurch bedingt ist, daß

das eine Mal mit Reibungselektricität experimentirt wurde, während das andere Mal ein galvanischer Strom zur Anwendung kam.

Als durch Einschaltung einer weiteren galvanischen Batterie die elektromotorische Kraft vergrößert wurde, ergab sich kein merklicher Zuwachs in der Geschwindigkeit; daraus folgt jedoch noch nicht, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität von der Stromstärke unabhängig sei.

Galvanische Uhren. Das Hin- und Hergehen des Ankers eines Elek- 124
tromagneten kann benutzt werden, um die Drehung eines Steigrades in ähnlicher Weise zu reguliren, wie es bei gewöhnlichen Uhren durch die Schwingungen des Pendels geschieht. Denken wir uns, daß das Steigrad 60 Zähne hat, und daß die momentane Schließung der Kette alle Secunden erfolgt, so ist klar, daß der Zeiger am Steigrad in jeder Secunde um $^1/_{60}$ des Kreisumfanges fortgeschoben wird, daß er also ein Secundenzeiger ist.

Wird der Strom nur am Ende einer jeden Minute für einen Moment geschlossen, so springt der Zeiger jede Minute um $^1/_{60}$ des Kreisumfanges weiter.

Das momentane Schließen der Kette am Ende einer jeden Secunde oder einer jeden Minute kann nun leicht durch ein genau gehendes Uhrwerk besorgt werden, und auf diese Weise läßt sich der Gang dieser Uhr auf mehrere entfernte Zifferblätter mit der größten Genauigkeit übertragen.

Von dem größten Werthe für astronomische Beobachtungen sind die galvanisch registrirenden Uhren, welche von dem Amerikaner Locke zuerst in Anwendung gebracht wurden. Wird bei jedem Schlage des Pendels einer astronomischen Uhr die Kette geschlossen, in deren Schließungsbogen eine dem Morse'schen Telegraphen ähnliche Vorrichtung eingeschaltet ist, so wird der Stift bei jedem Secundenschlage einen Punkt auf dem mit gleichmäßiger Geschwindigkeit vorwärts bewegten Papierstreifen machen. Beim Locke'schen Apparate ging der Papierstreifen mit einer solchen Geschwindigkeit voran, daß die Secundenpunkte ungefähr einen Zoll von einander abstanden.

Neben dem Elektromagneten dieses Schreibapparates ist aber noch ein zweiter angebracht, dessen Windungen einer anderen Kette angehören, welche der Beobachter beliebig schließen kann, indem er mit dem Finger eine Taste anschlägt. Durch die Schließung dieser zweiten Kette wird nun gleichfalls ein Stift gegen den Papierstreifen gedrückt; bei wiederholtem Anschlagen entsteht so auf dem Papierstreifen neben der ersten Reihe von Punkten, den Secundenpunkten, eine zweite, welche wir Beobachtungspunkte nennen wollen.

Ist nun z. B. eine Sonnenfinsterniß zu beobachten, also genau der Moment anzugeben, in welchem der Mondrand an die Sonne tritt, so schaut der Beobachter durch das Fernrohr und hält den Finger an die Taste, welche er niederdrückt, sobald er die fragliche Erscheinung wahrnimmt. Auf diese Weise wird der Beobachtungsmoment auf dem Papierstreifen markirt.

Steht der Beobachtungspunkt neben einem Secundenpunkte, so hat die

Beobachtung mit der Secunde zusammengetroffen und der Anfang der Finsterniß tritt um so viel Uhr, Minuten und Secunden ein. Trifft der Beobachtungspunkt nicht neben einem Secundenpunkte, sondern zwischen zwei Secunden ein, so kann man mit dem Zirkel die Entfernung auf dem Papierstreifen abmessen und danach (mittelst einer Scala) bestimmen, wie viel Zehntel und, wenn man will, Hundertel einer Secunde noch zu der nächst vorhergehenden Secunde hinzukommen. So ist es möglich, den Zeitpunkt einer Beobachtung bis auf Hundertel-Secunden genau zu ermitteln.

Diese große Genauigkeit der Ablesung ist ein wesentlicher Vorzug der galvanisch registrirenden Uhr.

Bisher mußte man die Uhr immer neben sich haben, um die Secunden zu hören, und konnte eine Beobachtung nicht gerade in der unmittelbaren Nähe der Uhr gemacht werden, so war dies, selbst wo alle Hülfsmittel gegeben waren, eine sehr umständliche Sache; bei einer registrirenden Uhr dagegen ist es ganz gleichgültig, wo sie steht, da man die Drahtleitung leicht durch alle Zimmer einer Sternwarte führen kann; es ist nicht nicht einmal erforderlich, daß die astronomische Uhr im Beobachtungssaale selbst ihren Platz habe, vielmehr erscheint es zweckmäßiger, sie in einem Wohnzimmer oder Büreau — natürlich an einem isolirten Pfeiler — aufzustellen, wo sie keiner großen Temperaturveränderung ausgesetzt ist und einen gleichmäßigen Gang einhalten kann.

Eine registrirende Uhr läßt sich ferner noch mit dem elektrischen Telegraphen in Verbindung bringen und zu mannigfaltigen Zwecken benutzen. Dieselbe Uhr kann z. B. einen Registrirapparat an der Münchener und einen an der Wiener Sternwarte haben, und wenn an beiden Orten der Durchgang derselben Sterne über den Meridian beobachtet wird, so läßt sich daraus mit einer bisher nie erreichten Sicherheit die geographische Längendifferenz ableiten.

Lamont hat diesen Apparat sehr verbessert. Den Papierstreifen ersetzte er durch eine mit Ruß geschwärzte Metalltrommel, welche durch ein Uhrwerk mit gleichförmiger Geschwindigkeit um eine horizontale Axe gedreht wird. Auf beiden Seiten der Walze ragt die stählerne Umdrehungsaxe vor und ruht auf zwei messingenen Lagern. Die eine Hälfte dieser Axe ist nun mit einem Schraubengewinde versehen, so daß beim Umdrehen der Walze auch ein gleichförmiges Fortschieben derselben in der Richtung ihrer Längenaxe stattfindet; die Secundenpunkte, welche durch einen in Folge der Schließung der Kette an die Walze angedrückten Stift hervorgebracht werden, bilden demnach auf derselben eine Spirale.

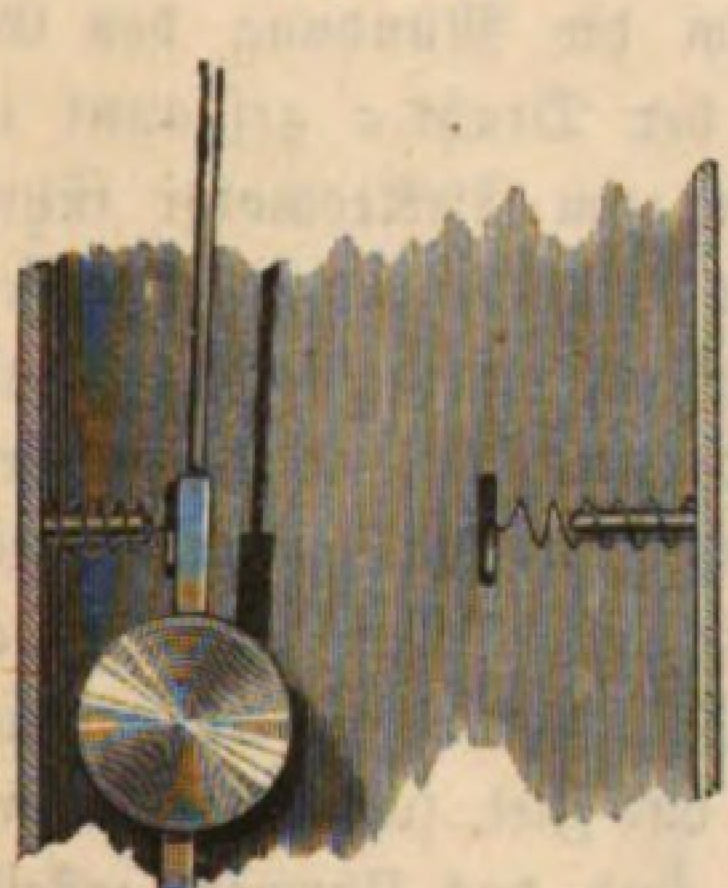
Die Beobachtungspunkte werden durch einen dicht neben dem ersteren angebrachten Stift markirt.

Näheres über diese sinnreichen Vorrichtungen findet man in »Lamont's Beschreibung der an der Münchener Sternwarte verwendeten neuen Instrumente und Apparate, München 1851.«

Eine sehr einfache von Buff herrührende Vorrichtung, um den Strom mit jedem Pendelschlage der Uhr zu schließen, ist Fig. 296 dargestellt. An jeder Seite des Uhrkastens ist etwas über der Höhe der Pendellinse eine

schwache Spiralfeder von Metalldraht angebracht, deren Axe horizontal steht, und welche nach Innen gekehrt am Ende eine kleine Metallplatte trägt. Jede dieser beiden Spiralen ist nun mit dem einen, etwa dem positiven Pol der elektromotorischen Batterie in leitende Verbindung gesetzt. Wenn nun das metallische Pendel an dem einen Ende seiner Bahn ankommt, so kommt es mit dem entsprechenden Metallblättchen in Berührung, und zwar wird dabei die Spiralfeder etwas comprimirt, damit ein hinlänglicher Contact zwischen dem Metallblättchen und der Pendelstange stattfindet, wie dies auf der linken Seite unserer Figur dargestellt ist. Von der comprimirten Spiralfeder geht nun der Strom durch das metallische Pendel zu dem messingenen Gestelle der Uhr, um endlich von diesem durch die Windungen des Elektromagneten zum anderen Pole des Elektromotors zurückzukehren.

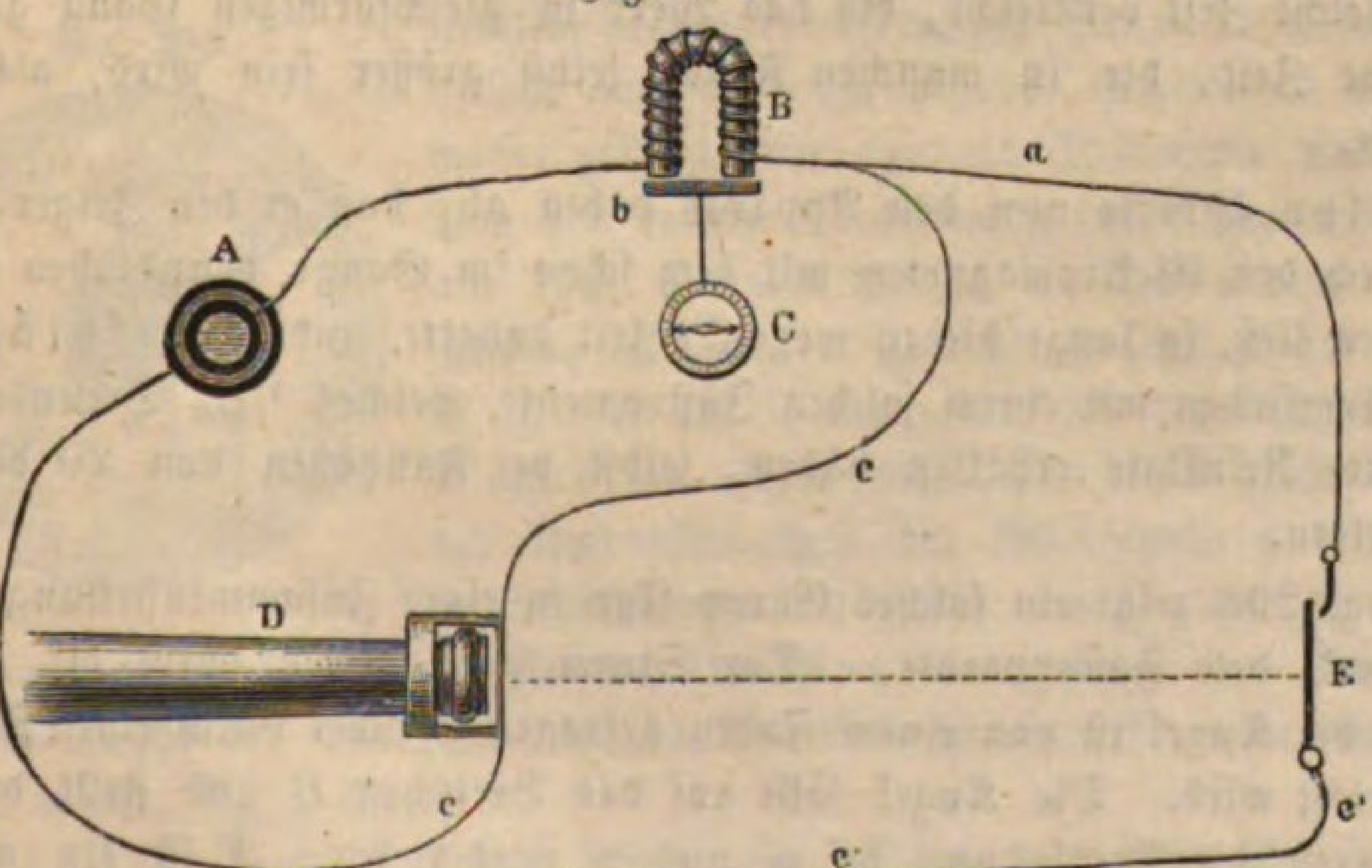
Fig. 296.



Wenn nun das Pendel von der in Fig. 296 dargestellten Lage zurückgeht, so wird der Strom alsbald unterbrochen, um erst wieder hergestellt zu werden, wenn das Pendel am anderen Endpunkte seiner Bahn angekommen ist.

Das elektrische Chronoskop. Wheatstone benutzte zuerst die große Geschwindigkeit der elektrischen Stromverbreitung, um sehr kleine Zeiträume zu bestimmen. Die nächste Absicht Wheatstone's war, die Zeit zu messen, welche Geschützkugeln zum Durchlaufen beliebiger Strecken ihrer Bahn brauchen. Seine Einrichtung zeigt die schematische Fig. 297. *A* ist die elek- 125

Fig. 297.



trische Batterie; einer ihrer Pole ist mit dem Elektromagneten *B* verbunden; ist der Strom geschlossen und also der Anker des Magneten angezogen, so steht

die Uhr C still; verliert aber der Magnet seine Kraft, so zieht eine Feder den Anker b ab und dadurch wird das Uhrwerk C ausgelöst und läuft so lange, bis der Strom wieder geschlossen wird. Dieses Oeffnen und Schließen der Kette bewirkt die Kugel auf folgende Weise. Um die Mündung des Geschützes D ist ein Holzring gelegt, über welchen der Draht c gespannt ist, welcher einerseits zum Elektromagneten, andererseits zum Elektromotor führt; diese Verbindung wird durch die aus dem Rohr tretende Kugel zerrissen, die Kette geöffnet, und so die Uhr in Bewegung gesetzt. Ein zweiter Draht c' ist mit einem in beliebiger Entfernung aufgestellten Ziele E verbunden, welches so eingerichtet ist, daß die geringste Bewegung, welche ihm mitgetheilt wird, eine kleine Metallfeder in dauernde Berührung mit einem Metallstücke bringt, welches durch den Draht a mit demselben Pole des Magneten verbunden ist wie der Draht c. Berührte nun die Kugel das Ziel, so wurde dadurch die Kette abermals geschlossen, der Anker angezogen und das Uhrwerk gestellt. Der Zeiger giebt nun die von der Kugel verwendete Zeit an.

Das Chronoskop C muß natürlich so eingerichtet sein, daß es noch sehr kleine Unterabtheilungen einer Secunde angeben kann.

Wheatstone fand eine bedeutende Fehlerquelle darin, daß der Anker nicht rasch genug vom Elektromagneten abfiel und ebenso nicht rasch genug angezogen wurde; aus diesem Grunde hält Wheatstone selbst seine Messungen nur bis auf $^1/_{60}$ Secunde genau. Dieser Fehler läßt sich wohl am besten vermeiden, wenn man, wie beim Morse'schen Telegraph, den Anker nicht ganz in Berührung mit dem Elektromagneten kommen läßt.

In Wheatstone's Chronoskop erkannte Hipp als Hauptfehler den Umstand, daß das Uhrwerk erst beim Beginne der zu messenden kleinen Zeit in Gang gesetzt wird, wobei nothwendig eine größere, jedoch für alle Versuche etwa gleiche Zeit verstreicht, bis das Werk in gleichförmigen Gang gekommen ist, eine Zeit, die in manchen Fällen selbst größer sein wird, als die zu messende.

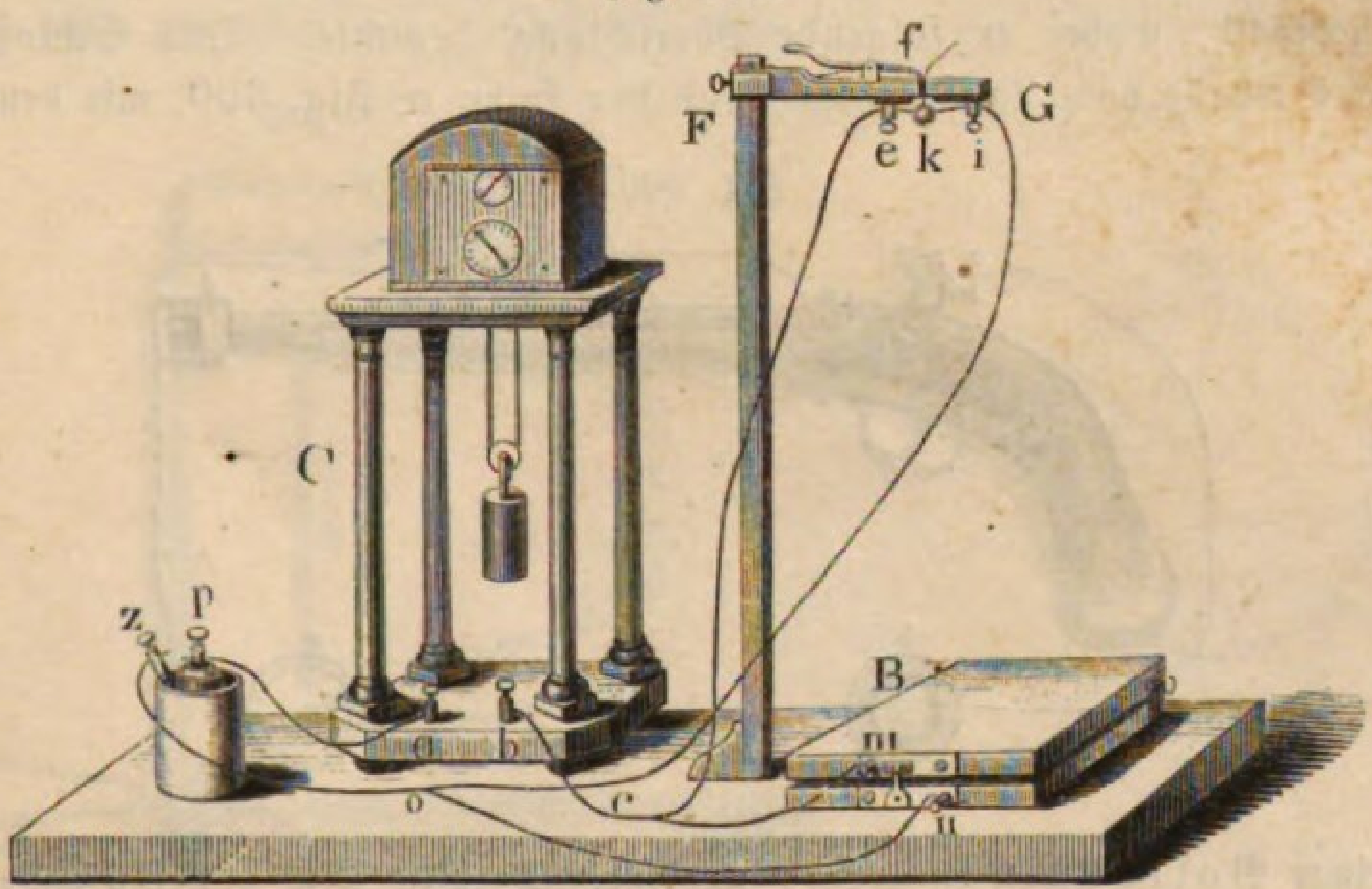
Hipp änderte nun den Apparat dahin ab, daß er den Zeiger der Uhr nur durch den Elektromagneten mit dem schon im Gange befindlichen Uhrwerk verbinden ließ, so lange die zu messende Zeit dauerte, und Oehlschläger will bei Fallversuchen mit einem solchen Instrumente, welches $^1/_{500}$ Secunde angab, sehr gute Resultate erhalten haben, selbst bei Fallhöhen von 20 bis 1500 Millimetern.

Fig. 298 zeigt ein solches Chronoskop in einer Zusammenstellung mit der Kette und dem Fallapparate. Der Strom geht von e durch die Kugel k nach i; die Kugel ist von einem Faden getragen, welcher durch einen Druck auf f ausgelöst wird. Die Kugel fällt auf das Brettchen B und stellt durch ihr Aufschlagen die Verbindung bei m und n wieder her. F ist ein getheilter Stab.

Pouillet sucht die Messung kleiner Zeittheilchen auf einem anderen Wege zu bewerkstelligen. Er geht nämlich von der Ansicht aus, daß die Größe des

durch einen vorübergehenden Strom bewirkten Ausschlages der Multiplicatornadel von der Stärke des Stromes und von der Zeit abhänge, während welcher derselbe auf die Nadel wirkt, wenn diese letztere überhaupt nur klein ist. Man

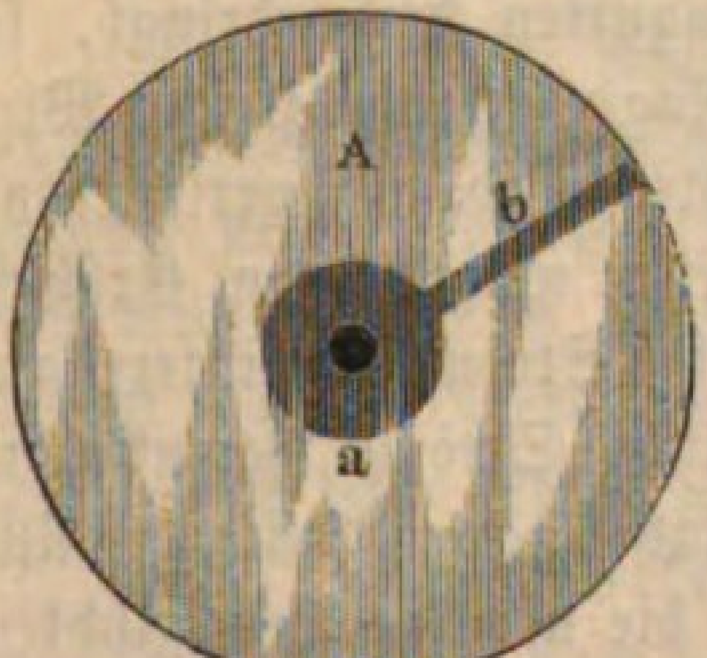
Fig. 298.



kann also aus dem unter verschiedenen Umständen erfolgenden Ausschlage au die Zeit schließen, wenn immer der gleich starke Strom angewendet wird und das Verhältniß zwischen Zeit und Ausschlag bekannt ist. Pouillet hat das letztere nicht theoretisch entwickelt, sondern durch Versuche auf folgende Weise eine Tabelle construirt.

Auf eine runde Glasplatte *A*, Fig. 299, von 84 Centimeter Durchmesser, welche um eine Axe gedreht werden konnte, wurde rund um die Axe herum ein ziemlich breiter kreisförmiger Stanniolstreifen *a*, von diesem aus aber ein gerader Streifen *b* als Halbmesser geklebt, der nur ein Millimeter Breite hatte. Von den beiden Stromenden ruhte das eine federnd auf dem Stanniolstreifen *a*, das andere auf der Platte; wird letztere gedreht, so schließt sich die Kette so oft und auf so lange, als sich der Stanniolstreifen *b* unter der Feder befindet. Man kann nun aus der Umdrehungszeit der Glasscheibe und der Entfernung der zweiten Feder von der Axe die Zeit der Schließung leicht bestimmen; sie war bei Pouillet, wenn die zweite Feder nahe am Rande der Glasplatte auflag und diese in einer Secunde einmal umgedreht wurde, $^1/_{2250}$ Secunde.

Fig. 299.

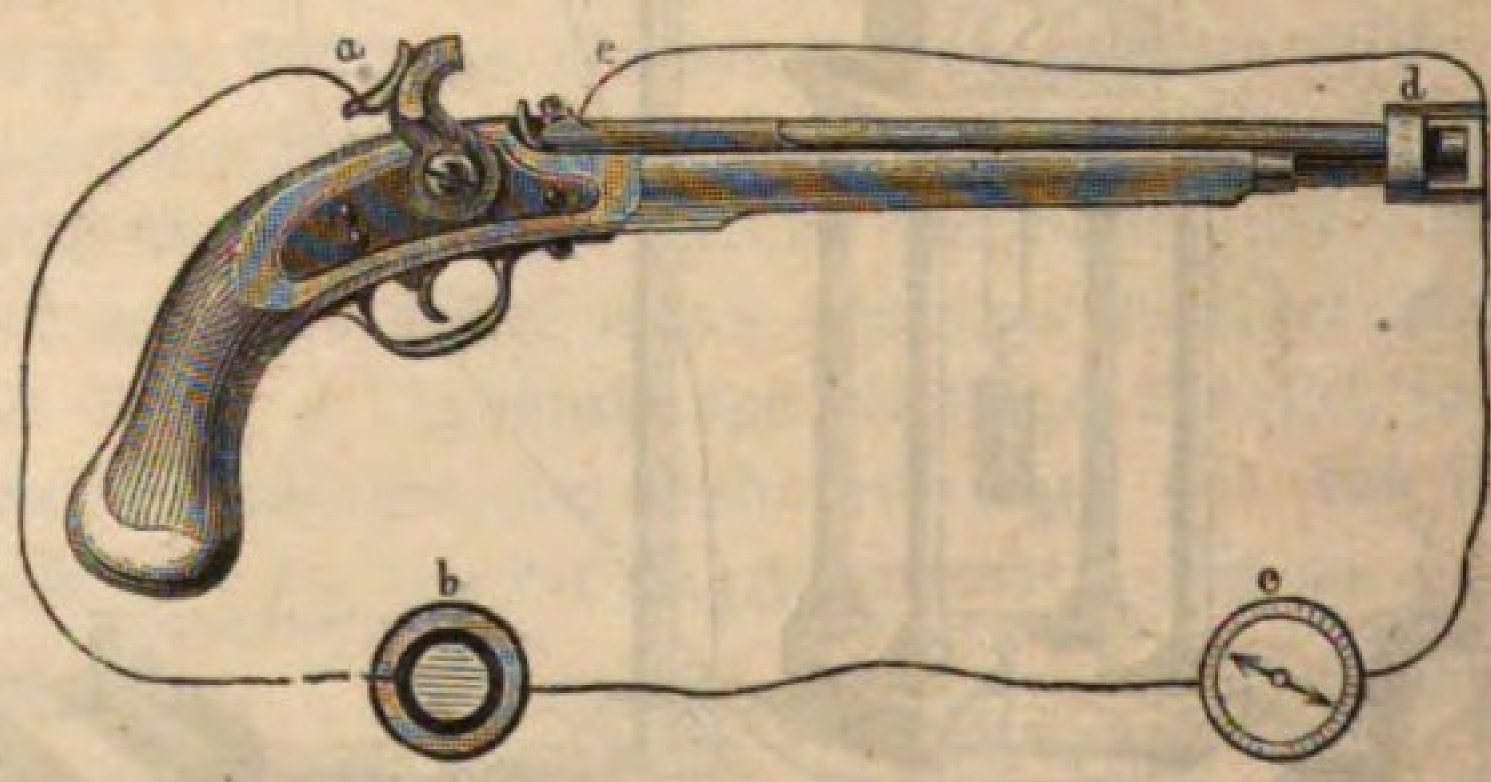


Pouillet fand, daß der Strom einer Säule von sechs Daniell'schen Elementen, der 40 Meter Kupferdraht von 1 Millimeter Durchmesser zu durchlaufen hatte und während $^1/_{5000}$ Secunde auf die Nadel eines wenig empfindlichen Galvanometers wirkte, eine Ablenkung von 12 Graden bewirkte, welchen

Bogen die Nadel in 10 Secunden zurücklegte. Mit einem anderen empfindlicheren Instrumente erhielt Pouillet bei einem Elemente und 20 Meter Kupferdraht in $^1/_{5000}$ Secunde 15° Ablenkung.

Pouillet hat nur Versuche über die Geschwindigkeit der Pulverentzündung gemacht, wobei er folgende Vorrichtung benutzte. Das Schloß eines Gewehres wurde vom Laufe isolirt, und der Hahn *a*, Fig. 300, mit dem einen

Fig. 300.



Pole einer Volta'schen Batterie *b* verbunden. Von dem anderen Pole führte ein Draht zum Multiplicator *c* und von diesem über einen Holzring *d* vor der Mündung des Gewehres weg an das Zündhütchen *e*. Die Kette war also geschlossen von dem Augenblicke an, wo der Hahn aufschlug, bis zu jenem, wo die Kugel den Lauf verließ. Bei der angewendeten Ladung fand Pouillet diese Zeit = $^1/_{140}$ bis $^1/_{150}$ Secunde. Pouillet hoffte, daß sein Instrument noch manche andere Anwendungen gestatten werde, namentlich um die Dauer der sogenannten momentanen Ströme zu bestimmen.

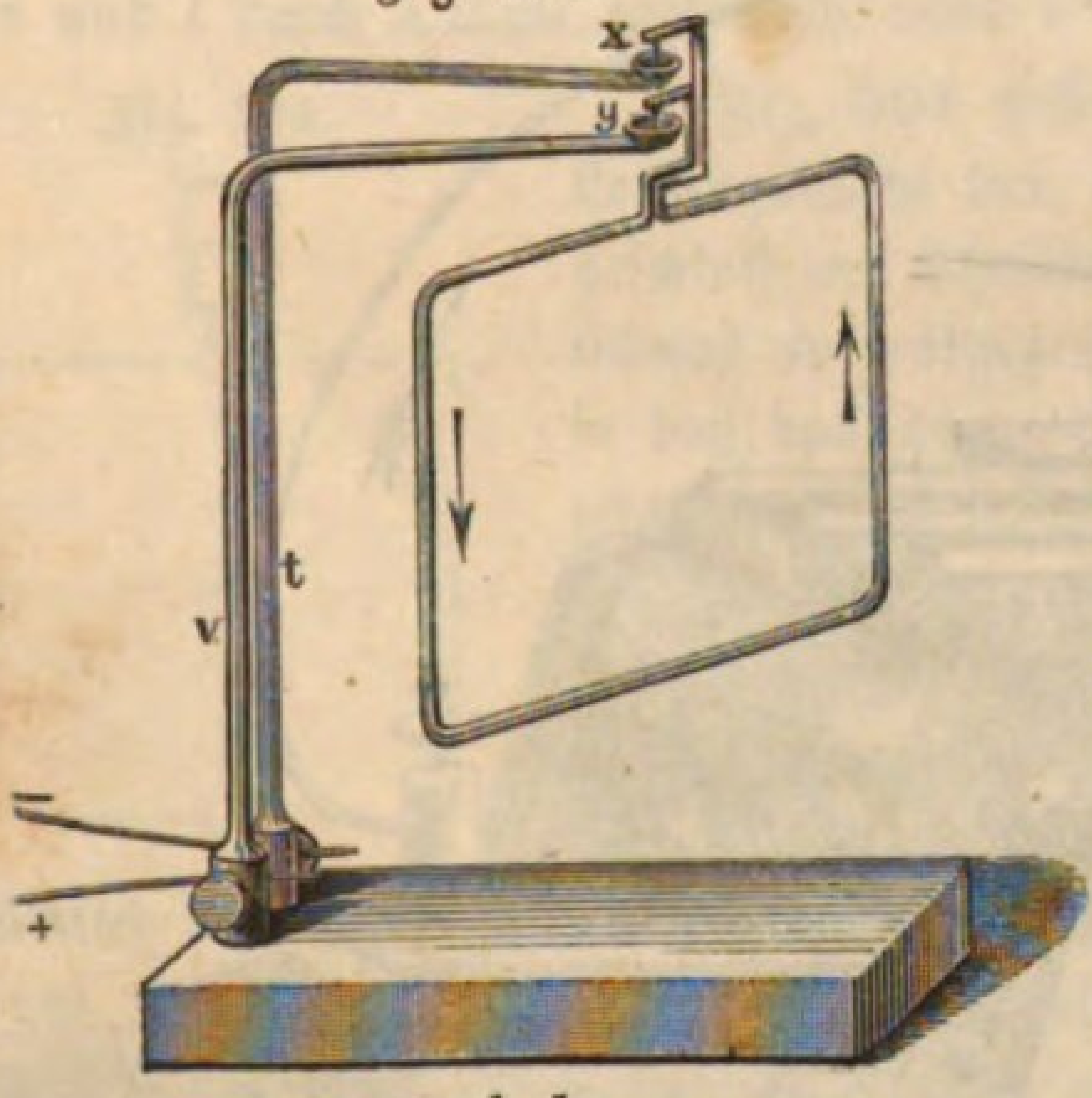
126 **Richtung der Ströme unter dem Einfluß des Erdmagnetismus.** Da der Strom eine Wirkung auf den Magneten hervorbringt, so konnte man nicht zweifeln, daß auch umgekehrt die Magnete eine gleiche Wirkung auf den Strom ausüben, ihn also auch zu richten und auf verschiedene Weise zu bewegen im Stande sind. Unter allen diesen umgekehrten Erscheinungen ist die Einwirkung des Erdmagnetismus auf die Ströme am interessantesten, und man hatte schon lange versucht, bewegliche Ströme herzustellen, welche, sich selbst überlassen, alle Erscheinungen der Nadel zeigen sollten. Alle diese Versuche aber mißlangen, weil man dem Strome die nöthige Beweglichkeit nicht geben konnte. Bald aber wurden alle diese Schwierigkeiten von Ampère durch eine sinnreiche Aufhängung überwunden, die sich auf alle Ströme anwenden läßt.

Fig. 301 stellt zwei verticale Säulen von Messing dar, welche auf einem Fuße von Holz befestigt sind; oben tragen sie horizontale Arme, die mit den Quecksilbernäpfchen *x* und *y* endigen, deren Mittelpunkte genau vertical unter einander stehen. Die beiden Säulen sind nirgends in leitender Berührung. Unten sind sie etwas dicker, so daß man die zu den Polen eines galvanischen

Rheomotors führenden Leitungsdrähte einschrauben kann; dadurch wird das eine Quecksilbernäpfchen gewissermaßen zum positiven, das andere zum negativen Pole.

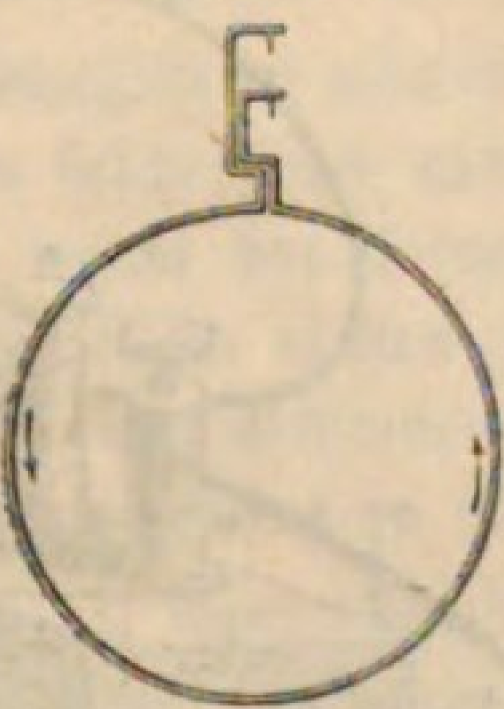
In diese Quecksilbernäpfchen werden nun Leitungsdrähte eingehängt, wie sie Fig. 301 und Fig. 302 dargestellt sind. Da, wo sich die beiden Drahtenden zu berühren scheinen, sind sie durch eine isolirende Substanz getrennt; sie sind oben umgebogen und mit Stahlspitzen versehen, die in die Näpfchen x und y, Fig. 301, eingetaucht werden. Die eine Spitze geht bis auf den Boden des Näpfchens und ruht hier auf einer kleinen Glasplatte, die andere Spitze taucht nur in das Quecksilber ein. Durch diese Aufhängung ist der Draht ungemein leicht beweglich.

Fig. 301.



$\frac{1}{4}$–$\frac{1}{6}$

Fig. 302.

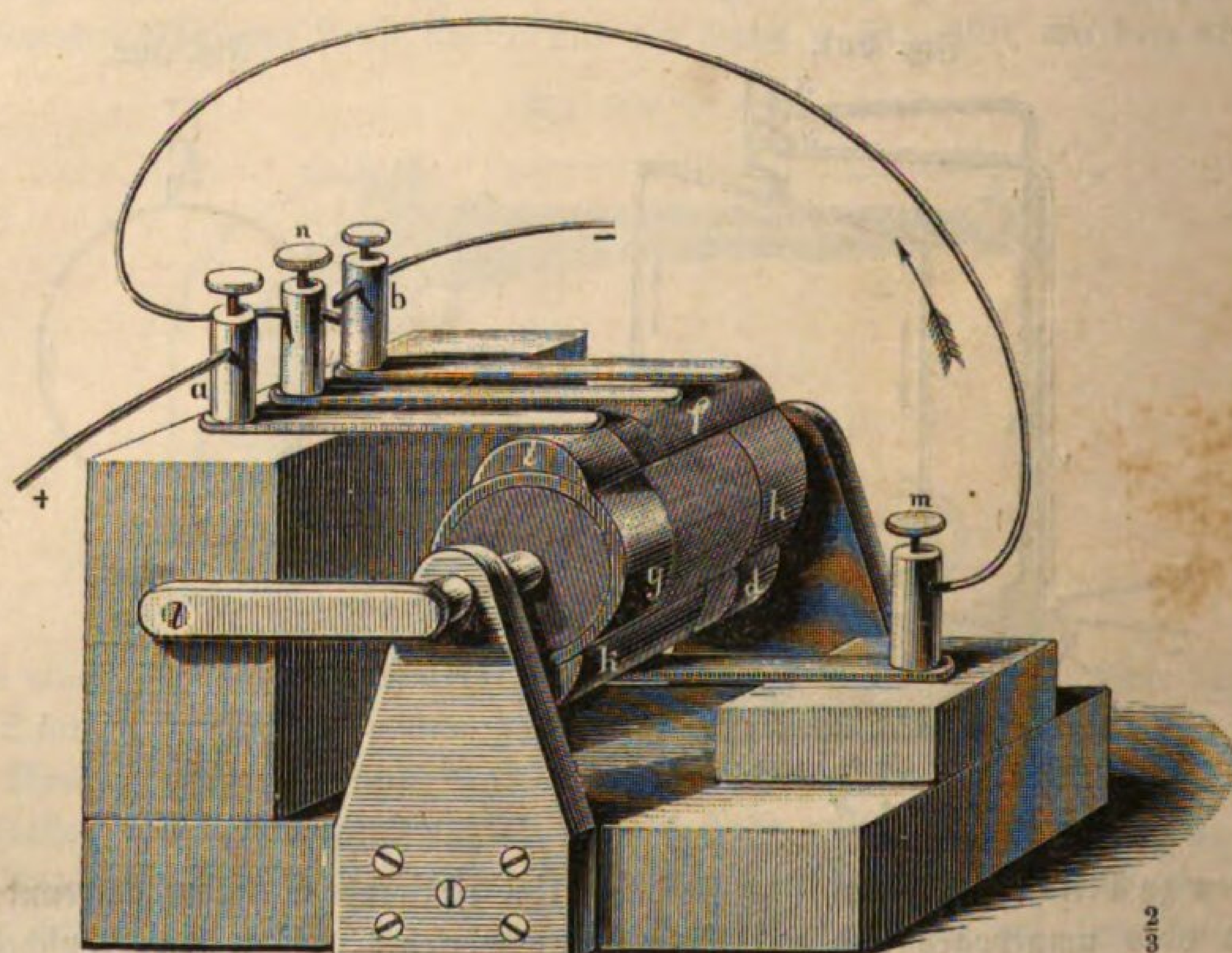


Läßt man nun einen Strom hindurchgehen, so dreht sich der Draht, um nach einigen Oscillationen in einer bestimmten Lage stehen zu bleiben, in die er auch stets wieder zurückkehrt, wenn man ihn daraus entfernt. Kehrt man den Strom um, so macht der bewegliche Leiter eine halbe Umdrehung und kommt alsdann wieder zur Ruhe. In beiden Gleichgewichtslagen steht der Leiter so, daß seine Ebene mit der des magnetischen Meridians einen rechten Winkel macht. Ein stabiles Gleichgewicht findet Statt, wenn in der unteren Hälfte des beweglichen Leiters der positive Strom von Osten nach Westen geht.

Um den Strom leicht, rasch und sicher umkehren zu können, wendet man Apparate an, welche den Namen Stromwender, Gyrotrop oder Commutator führen. Bei den früheren derartigen Apparaten war immer Quecksilber in Anwendung gebracht worden, welches man in neuerer Zeit, der mannigfachen Uebelstände wegen, die es mit sich bringt, möglichst zu vermeiden sucht. Fig. 303 (a. f. S.) stellt einen Stromwender dar, bei dessen Construction kein

Quecksilber in Anwendung kommt. Eine Walze von Holz ist um eine horizontale Axe mittelst des Hebels *l* drehbar. Auf ihrer vorderen Seite trägt sie einen Metallring *g*, auf der hinteren einen solchen *h*. Auf jedem dieser Ringe

Fig. 303.



sind diametral gegenüberstehend zwei Metallwülste aufgelöthet, von denen der eine nicht länger ist als der Ring selbst, während der andere über denselben hinausragt, und zwar bis über die Mitte der Walze reichend. So sitzen auf dem Ringe *g* die Wülste *i* und *k*, auf *h* sitzen *d* und *f*. Bei der Stellung, welche die Figur zeigt, sind die Wülste *i* und *f* gerade nach oben, *d* und *k* nach unten gekehrt, und drücken deshalb fest gegen die mit den Messingsäulchen *a*, *n*, *b* und *m* in Verbindung stehenden Metallfedern an. Ist nun *a* mit dem positiven und *b* mit dem negativen Pole der Säule in Verbindung; sind ferner in *m* und *n* die Enden der Drahtleitung eingeschraubt, durch welche man einen Strom hindurchsenden will, so geht der positive Strom von *a* durch die zu diesem Säulchen gehörige Feder über *i*, *g* und *k* zur Feder des Säulchens *m*, von *m* durch den Schließungsdraht nach *n*, durch die Feder von *n* auf den Wulst *f*, und von *f* durch die Feder des Säulches *b* nach diesem selbst und nach dem negativen Pole des Rheomotors.

Dreht man den Hebel *l* um eine Viertelumdrehung, so daß er vertical nach oben zu stehen kommt, so ist der Strom ganz unterbrochen, weil die Federn von *m* und *n* nicht mehr auf Metall aufliegen; legt man aber ganz um, so daß der Hebel *l* nach der rechten Seite steht, so wird der Schließungs-

bogen in einer der eben besprochenen entgegengesetzten Richtung durchströmt, wovon man sich leicht durch aufmerksames Beschauen der Fig. 303 überzeugen kann; denn nun liegen die Federn von *a* und *n* auf *k* auf, die Feder von *b* schleift auf *d*, die von *m* auf *f*.

Um den Apparat Fig. 301 mit diesem Stromwender in Verbindung zu bringen, muß man die Säulchen *m* und *n*, Fig. 301, mit dem Fuße der Stäbchen *v* und *t* durch Drähte verbinden, etwa *v* mit *m* und *t* mit *n*.

Fig. 304.

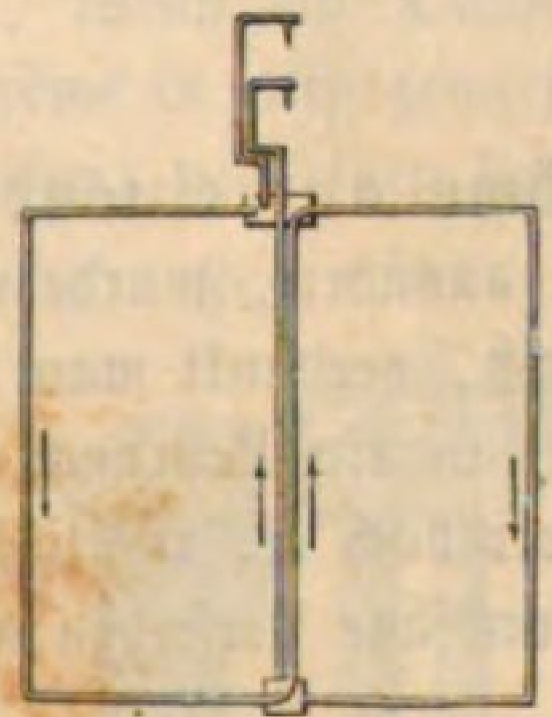


Fig. 304 stellt einen beweglichen astatischen Leitungsdraht dar, d. h. einen solchen, der aus zwei geschlossenen Theilen besteht, welche der Erdmagnetismus in entgegengesetzter Weise zu richten strebt, so daß das ganze System nun kein Bestreben mehr zeigt, in einer bestimmten Stellung stehen zu bleiben.

De la Rive hat einen recht sinnreichen Apparat angegeben, welcher dazu dient, zu zeigen, wie selbst schwache Ströme durch Magnete, ja schon durch den Erdmagnetismus gerichtet werden können. Es ist nämlich ein schwimmender Strom. In einem Stücke Kork, Fig. 305, welches auf gesäuertem Wasser schwimmt, ist ein Stück Zink *Z*, und ein Stück Kupfer *K* befestigt, und beide Platten sind durch einen Kupferdraht verbunden; dieser Draht bildet mehrere kreisförmige Windungen. Auf das Wasser gesetzt, bildet sich ein Strom, der vom Zink im Wasser zum Kupfer und dann durch den Draht in der durch den Pfeil angedeuteten Richtung hindurchgeht. Die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus solche Ströme richtet, ist freilich äußerst gering, dagegen tritt die Anziehung und Abstoßung derselben durch Magnete ganz entschieden auf.

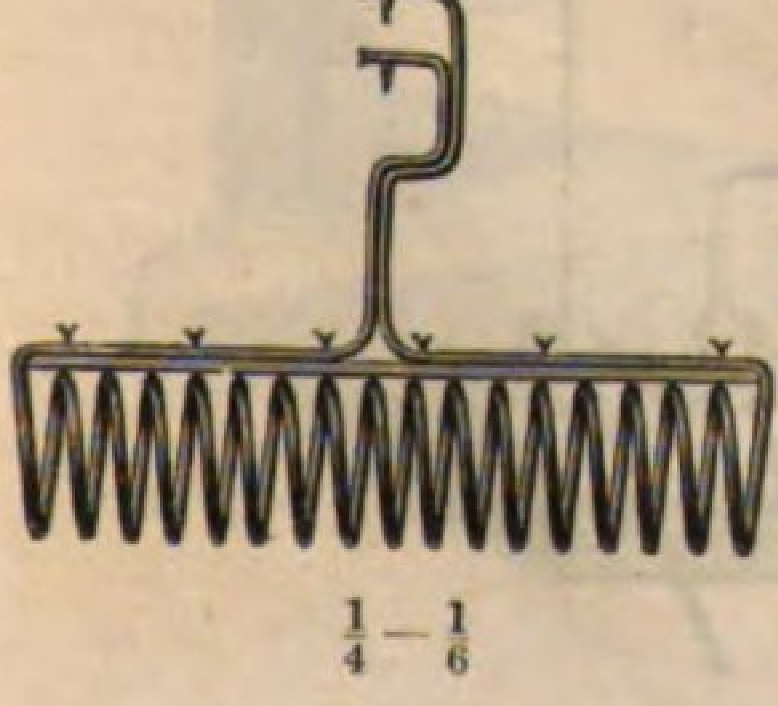
Fig. 305.



$\frac{1}{2}$

Weil sich ein geschlossener kreisförmiger Strom, welcher um eine verticale Axe drehbar ist, rechtwinklig zum magnetischen Meridian stellt, so folgt, daß eine Verbindung unter sich paralleler Kreise, die in derselben Richtung durchströmt werden, sich ebenso stellen muß. So muß sich denn auch der Schraubendraht, Fig. 306, an dem Ampère'schen Stativ aufgehängt und von einem Strome durchlaufen, so stellen, daß die Axe des Schraubendrahtes in die Richtung der Declinationsnadel fällt.

Fig. 306.



$\frac{1}{4} - \frac{1}{6}$

Es geht daraus nicht allein hervor, daß auf diese Weise die Declinationsnadel durch einen Schraubendraht nachgeahmt werden kann, sondern auch, daß der Nordpol derjenige ist, für welchen der

aufsteigende Strom auf der rechten Seite liegt, wenn man ihn von seiner Seite her betrachtet.

Das Brettchen, welches den verschiedenen Windungen des Schraubendrahtes, Fig. 306, zur Befestigung dient, besteht aus einer nichtleitenden Substanz.

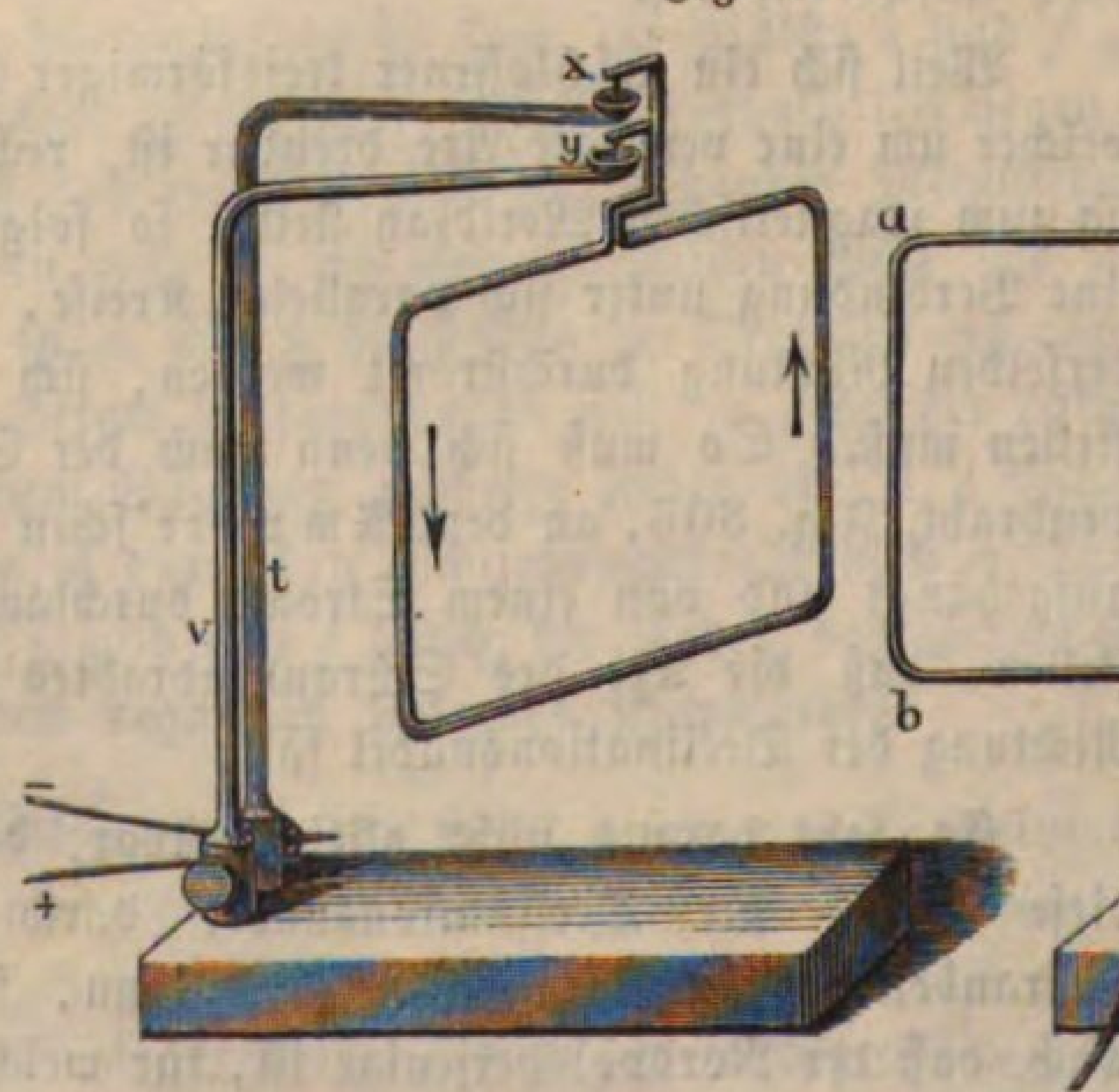
Wenn man den Schraubendrähten, welche wir soeben betrachtet haben, einen Magnetstab nähert, so kann man ganz ähnliche Erscheinungen beobachten, als ob man den Magnetstab einer Declinationsnadel näherte. Ueberhaupt werden natürlicher Weise alle bisher betrachteten Apparate auch durch Magnetstäbe afficirt werden.

127 **Gegenseitige Wirkung galvanischer Ströme auf einander.** Die gegenseitige Wirkung, welche Ströme auf einander ausüben, wurde von Ampère entdeckt, und fast Alles, was man darüber weiß, verdankt man seinen Untersuchungen. Wenn es auch nicht möglich ist, in ein Lehrbuch die ganze Ampère'sche Theorie aufzunehmen, so werden wir doch die wichtigsten Versuche anführen, auf welche sie sich stützt, und die Grundsätze derselben mittheilen.

Zwei parallele Ströme üben immer eine Wirkung auf einander aus, welche mehr oder weniger lebhaft ist, je nach ihrer Entfernung, ihrer Intensität und Länge. Betrachtet man nun die Richtung der hervorgebrachten Bewegung, so ist diese folgendem einfachen Gesetze unterworfen: Zwei parallele Ströme ziehen sich an, wenn sie sich in gleicher Richtung bewegen, sie stoßen sich aber ab, wenn ihre Richtungen entgegengesetzt sind.

Experimentell läßt sich dieser Satz leicht auf folgende Weise darthun: Man hänge in die Quecksilbernäpfchen des Stativs Fig. 301 den astatischen Stromleiter Fig. 304, und stelle daneben das einen rechtwinklig gebogenen Leitungsdraht tragende Brettchen Fig. 307 so auf, daß das verticale Drahtstück *ab* sich in der Nähe eines der verticalen Stromarme des be-

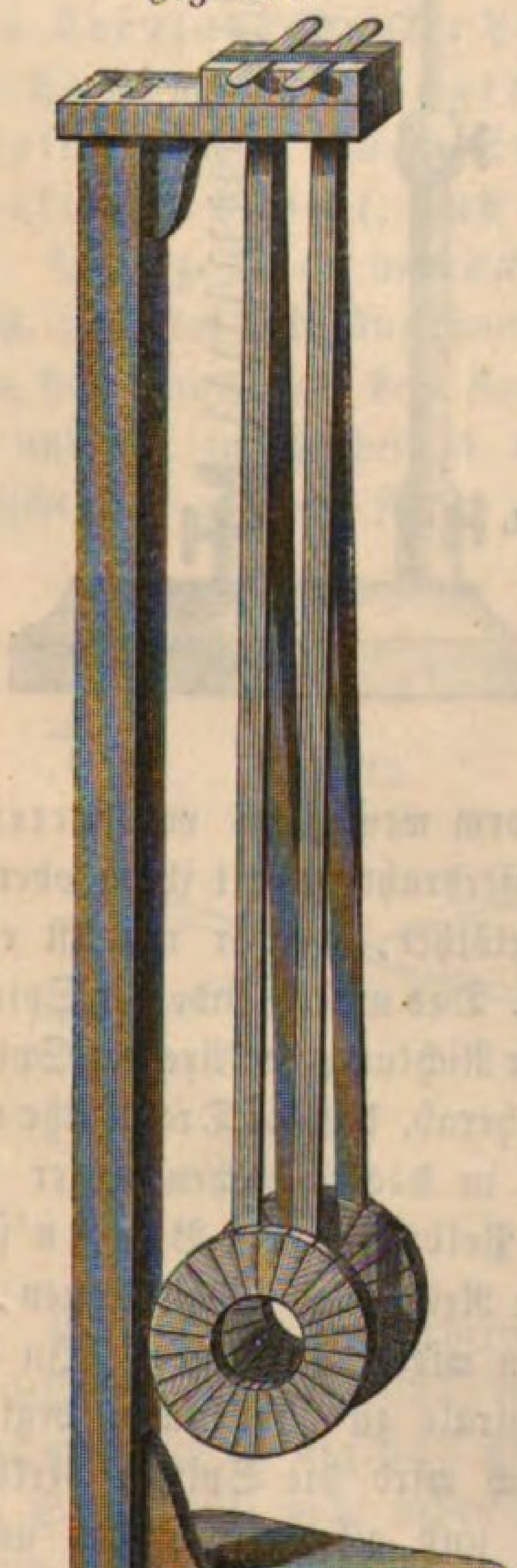
Fig. 307.



weglichen Leiters befindet. Man läßt nun den Strom einer Säule von etwa drei Bunsen'schen Bechern durch den beweglichen Stromleiter, den Strom von drei anderen durch den festen Draht, Fig. 307, hindurchgehen. Entweder das Stativ des Ampèr'schen Gestells oder auch der feste Leitungsdraht ist mit einem Commutator verbunden. — Laufen nun die Ströme in den benachbarten verticalen Drahtstücken in gleicher Richtung, so beobachtet man eine Anziehung, welche in Abstoßung übergeht, wenn man mittelst des Commutators den Strom in einem Leitungsdraht umkehrt.

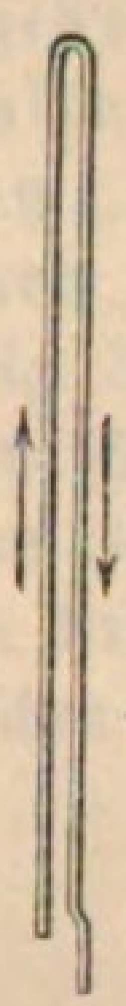
Wenn ein Draht umgebogen ist, wie Fig. 308, so daß zwei parallele Ströme in entgegengesetzter Richtung dicht neben einander herlaufen, so ist ihre Wirkung auf einen beweglichen Leitungsdraht Null.

Fig. 309.



$\frac{1}{10}$

Fig. 308.



Die Anziehung paralleler gleichgerichteter Ströme und die Abstoßung paralleler entgegengesetzt laufender läßt sich sehr anschaulich mit dem Fig. 309 dargestellten, von Buff angegebenen Apparat zeigen. Zwei Bandspiralen von der bereits auf Seite 290 beschriebenen Construction sind mittelst ihrer ungefähr 3 Fuß langen Zuleitungsstreifen von Kupferblech so aufgehängt, daß die Axe der einen in die Verlängerung der Axe der anderen fällt und daß die einander zugekehrten Flächen der beiden Spiralen fast in Berührung sind. Werden nun beide von dem Strome einer aus 4 bis 6 Bunsen'schen Bechern gebildeten Säule durchströmt, so stoßen sie sich kräftig ab, wenn die Strömungsrichtung nicht in beiden Spiralen dieselbe ist. Die Zuleitungsstreifen, welche vorher parallel neben einander hingen, divergiren alsdann so, daß die Spiralen 3 bis 4 Zoll auseinander stehen, wie es die Figur andeutet.

Bringt man zwischen die Zuleitungsstreifen der beiden Spiralen gegen das obere Ende hin einen ungefähr 3 Zoll dicken Holzstab, so daß die Spiralen, so lange sie undurchströmt sind, in 3 Zoll Abstand von einander hängen, so werden sie, wenn man einen Strom in gleicher Richtung durch sie hindurchleitet, einander so stark anziehen, daß sie vollständig zusammenklappen.

Die Art der Aufhängung kann man aus

Fig. 310 ersehen, welche die Aufhängung der Zuleitungsstreifen für die hintere Spirale der Figur 309 darstellt.

Da gleichgerichtete parallele Ströme einander anziehen, so müssen auch die einzelnen Windungen einer durchströmten Drahtspirale eine anziehende Wirkung auf einander ausüben. Es läßt sich dies sehr schön mit Hülfe des

Fig. 310.

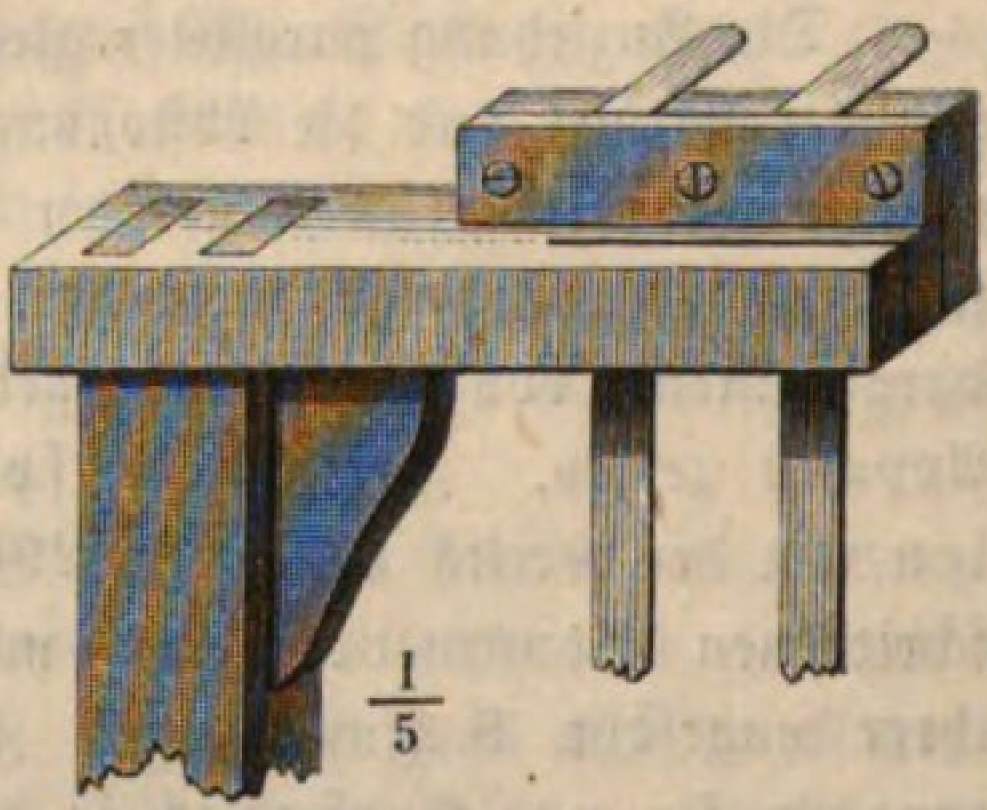
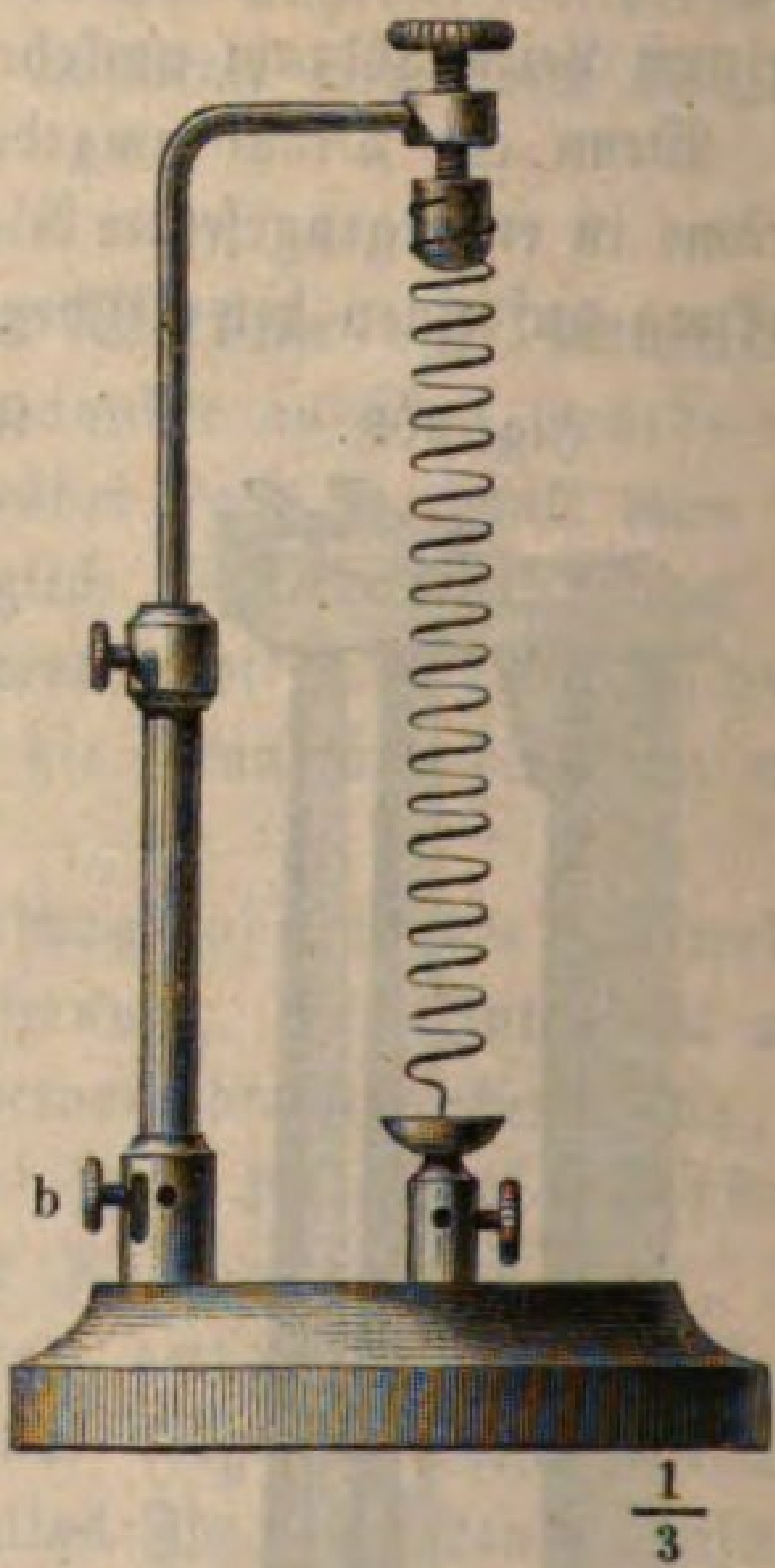


Fig. 311.



Apparates Fig. 311 zeigen, welcher in dieser Form wenigstens von **Petrina** herrührt. Eine Spirale von übersponnenem Kupferdraht ist mit ihren obersten Windungen an einen kurzen Metallcylinder angelöthet, welcher mittelst einer Schraube etwas gehoben oder gesenkt werden kann. Das untere Ende der Spirale, welches so umgebogen ist, daß es ungefähr in der Richtung der Axe der Spirale sich befindet, hängt in ein Quecksilbernäpfchen so herab, daß die Drahtspitze eben das Quecksilber berührt. Schraubt man nun in das Säulchen unter dem Quecksilbernäpfchen den einen, bei *b* den anderen Poldraht eines **Bunsen**'schen Bechers ein, so beginnt die Spirale sogleich eine Reihe von Oscillationen, indem sie sich abwechselnd zusammenzieht und dann wieder verlängert. In dem Moment nämlich, in welchem der Strom die Spirale zu durchlaufen beginnt, ziehen sich die einzelnen Windungen an, dadurch wird die Spirale verkürzt, ihr unteres Ende aus dem Quecksilber gehoben und also der Strom unterbrochen; in Folge ihrer Schwere senken sich die Drahtwindungen wieder, bis das untere Ende der Spirale abermals in das Quecksilber eintaucht und nun dasselbe Spiel von Neuem beginnt.

Die Spirale wird dadurch hergestellt, daß man einen ungefähr 8 Fuß langen $^1/_4$ bis $^1/_3$ Linie dicken übersponnenen Kupferdraht auf eine Glasröhre von 3 bis 4 Linien äußerem Durchmesser so aufwindet, daß die Drahtgänge

so dicht als möglich neben einander liegen. Wird der Draht nach einiger Zeit von der Glasröhre abgestreift, so dehnt sich die Spirale etwas aus, so daß die einzelnen Windungen etwas von einander abstehen, wie es für obigen Versuch am geeignetsten ist.

Wir nennen gekreuzte Ströme diejenigen, die nicht parallel sind, mögen sie nun in einer Ebene liegen und ihre Richtungen sich schneiden, oder mögen sie in verschiedenen Ebenen liegen, so daß sie sich nicht treffen. Im ersten Falle ist der Kreuzungspunkt derjenige, in welchem sie sich schneiden, im zweiten Falle ist es ein Punkt der kürzesten Entfernung beider Ströme. Zwei gekreuzte Ströme streben sich immer parallel zu stellen, um sich nach einer Richtung zu bewegen, oder mit anderen Worten: es findet Anziehung zwischen den Theilen des Stromes Statt, welche nach dem Kreuzungspunkte hingehen, und dann wieder zwischen denen, welche vom Kreuzungspunkte abgehen. Abstoßung aber findet Statt zwischen einem Strome, welcher sich nach dem Kreuzungspunkte hin bewegt, und einem anderen, welcher von ihm weggeht. Sind z. B. *ab* und *cd*, Fig. 312, zwei Ströme, deren Kreuzungspunkt *r* ist, so findet eine Anziehung zwischen den Theilen *ar* und *cr* Statt, in welchen der Strom nach dem Kreuzungspunkte hingeht, und zwischen den Theilen *rb* und *rd*, in welchen er vom Kreuzungspunkte abgeht. Abstoßung findet zwischen *ar* und *rd*, ferner zwischen *cr* und *rb* Statt.

Fig. 312.

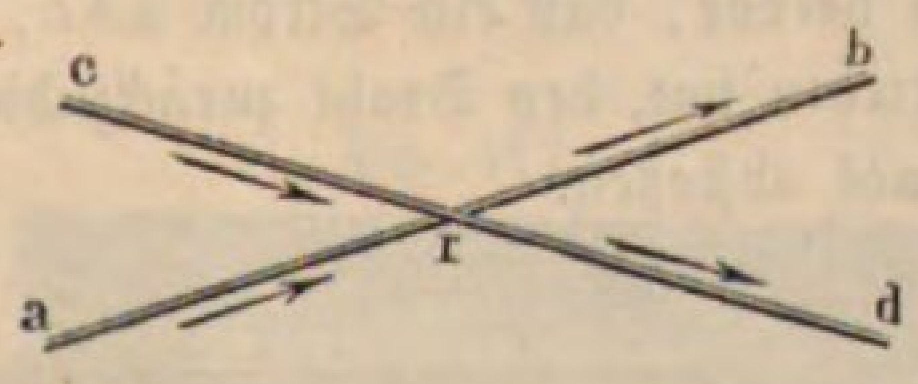
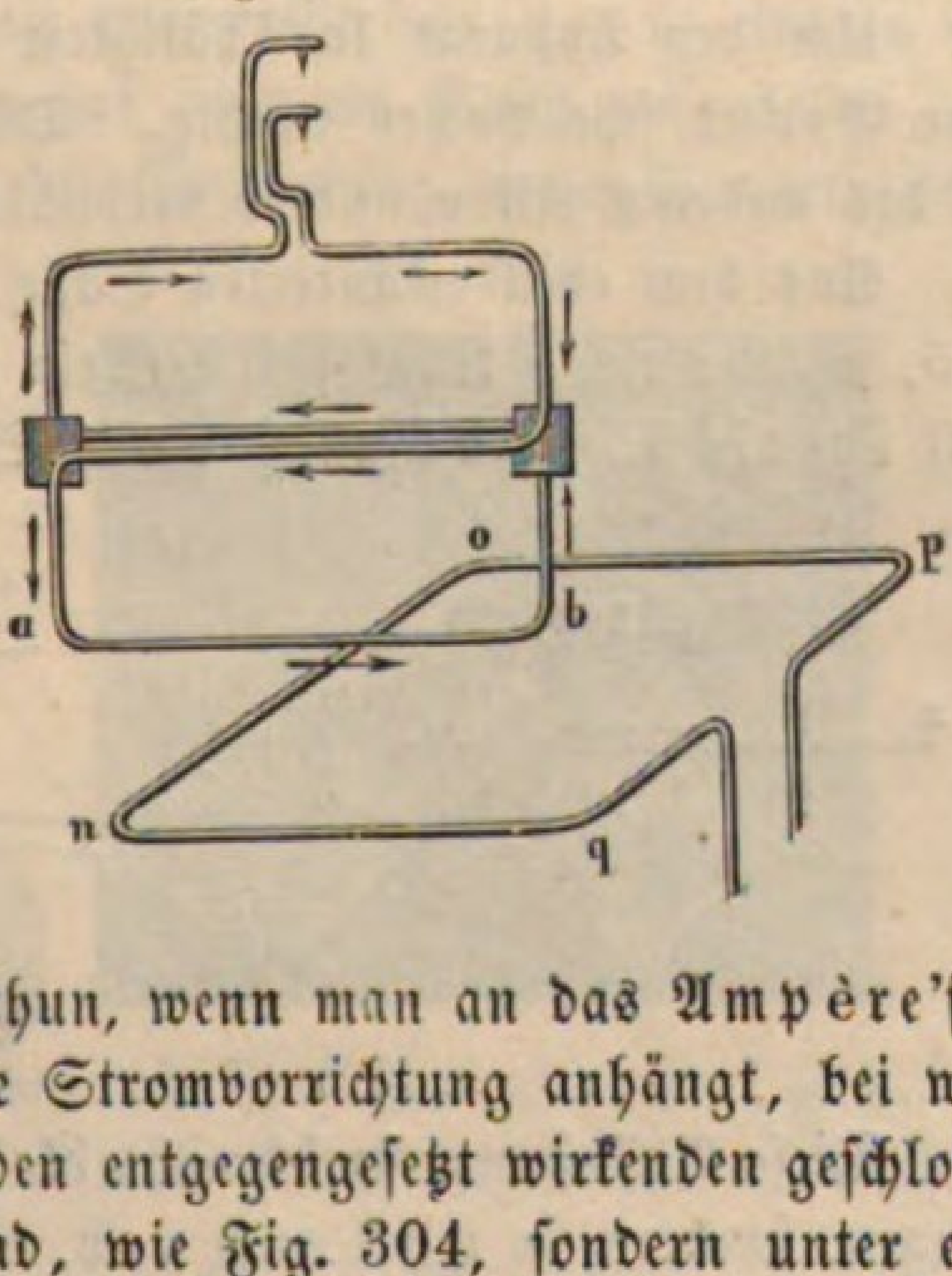


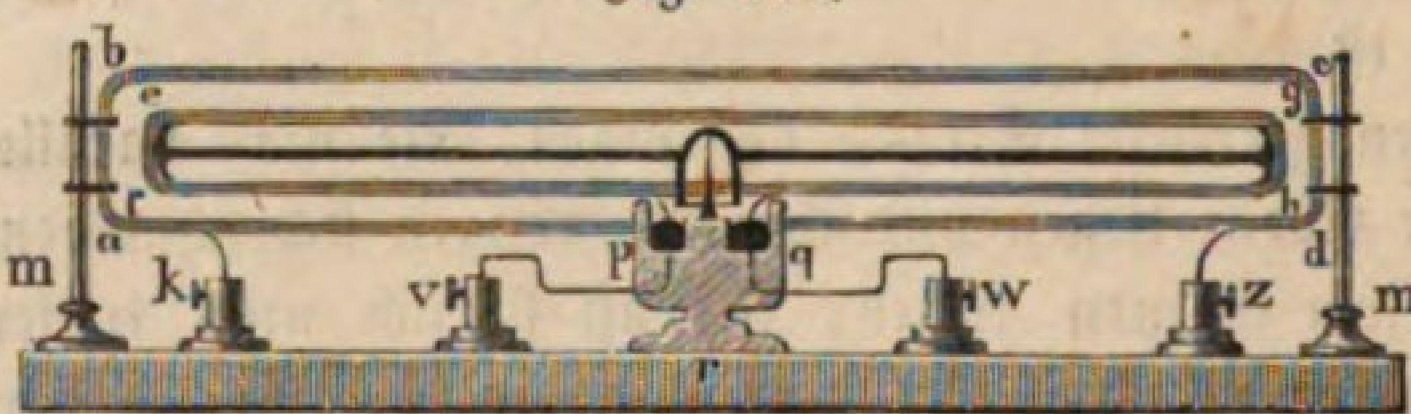
Fig. 313.



Es läßt sich dies experimentell darthun, wenn man an das Ampère'sche Gestell, Fig. 301 S. 337, eine astatische Stromvorrichtung anhängt, bei welcher, wie man in Fig. 313 sieht, die beiden entgegengesetzt wirkenden geschlossenen Stromtheile nicht neben einander sind, wie Fig. 304, sondern unter einander. Hält man nun unter das horizontale Drahtstück *ab* des astatischen beweglichen Leiters einen horizontalen Leitungsdraht *qnop*, welcher in ähnlicher Weise auf einem Brettchen befestigt sein kann, wie der Draht in Fig. 307, so daß *on* einen beliebigen Winkel mit *ab* macht, so wird sich der bewegliche Leiter in einer dem eben ausgesprochenen Satze entsprechenden Richtung drehen.

Garthe hat zur Demonstration desselben Satzes einen sehr zweckmäßigen, Fig. 314 im verticalen Durchschnitt in $1/4$ der natürlichen Größe dargestellten

Fig. 314.



Apparat construirt. Er besteht aus zwei Rahmen, welche durch 8 bis 10 Windungen eines ungefähr 0,3mm dicken übersponnenen Kupferdrahtes gebildet sind. Der größere dieser Multiplicatorrahmen *abcd*, dessen Drahtenden in den Messingsäulchen *k* und *z* eingeklemmt sind, wird durch zwei Säulchen getragen. Der zweite, etwas kleinere, aber bewegliche Multiplicator *fegh* ist auf einem metallenen Träger aufgewickelt, welcher in der Figur im Durchschnitt erscheint und ganz schwarz gemacht ist. Er trägt in seiner Mitte ein metallenes Hütchen, um seine Bewegung auf einer Stahlspitze zu ermöglichen. Diese Stahlspitze sowohl, als der hölzerne Fuß *pqr* gehen durch eine freigelassene Oeffnung des ersten feststehenden Drahtgewindes hindurch. Die Enden des beweglichen Drahtrahmens tauchen in eine kreisförmige Quecksilberrinne, welche durch eine elfenbeinerne Scheidewand (vertical zur Ebene des Papiers) in zwei halbkreisförmige Theile geschieden ist. Eine dieser Abtheilungen ist mit dem Messingsäulchen *v*, die andere mit *w* verbunden.

Um den Apparat in Thätigkeit zu setzen, hat man zwei Bunsen'sche oder Grove'sche Becher nöthig. Die Pole des einen werden mit *k* und *z*, die des anderen mit *v* und *w* verbunden.

Aus dem eben erläuterten Satze geht hervor, daß ein Strom *abc*, Fig. 315, welcher einen Winkel bildet, ein Bestreben hat, den Draht zurückzubiegen, weil sich die Theile *ab* und *bc* des Stromes abstoßen.

Fig. 315.

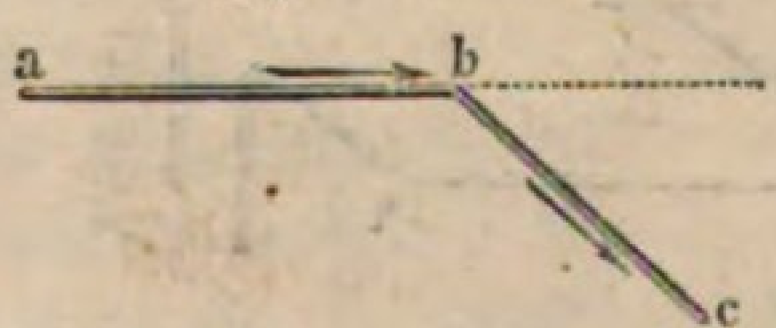
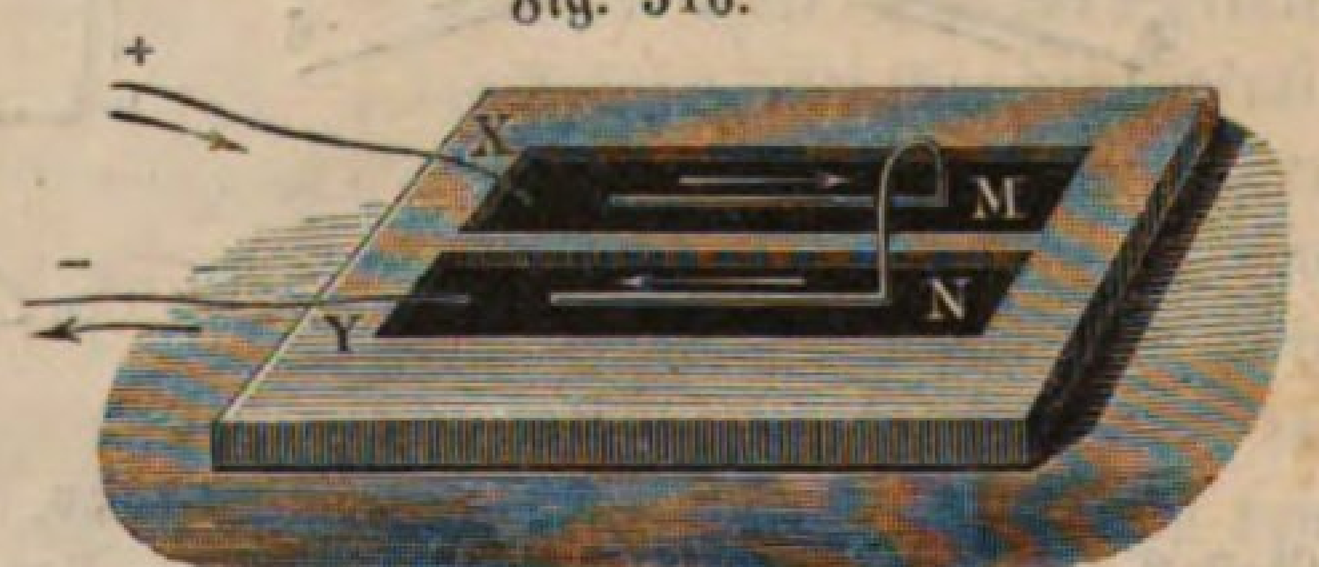


Fig. 316.



Diese Abstoßung strebt nicht bloß, *bc* in die Verlängerung von *ab* zu bringen, sondern sie wirkt auch noch, wenn diese Bedingung erfüllt ist, d. h. die verschiedenen zusammenhängenden Theile eines und desselben geradlinigen Stromes stoßen sich ab. Es ist dies eine wichtige Folgerung aus der Ampère'schen Theorie; was jedoch den experimentellen Beweis für diesen Satz betrifft, so möchte wohl noch viel zu wünschen übrig sein. Der Apparat, dessen man sich dazu bedient, ist Fig. 316 dargestellt. Ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß ist durch eine nichtleitende Scheidewand in zwei

Abtheilungen getheilt. Ein mit Seide übersponnener Kupferdraht ist so gebogen, daß er von einer Abtheilung in die andere führt und daß sich in jeder Gefäßabtheilung noch ein horizontaler Arm befindet, welcher der Scheidewand parallel ist; diese horizontalen Arme sind bis auf das Ende, welches, etwas abwärts gebogen, in das Quecksilber eintaucht, mit Wachs überzogen. Bringt man nun die beiden Poldrähte einer galvanischen Kette in die Verlängerung der horizontalen Arme dieses Drahtes in das Quecksilber, so weicht der ganze Draht von den Poldrähten zurück, was anzudeuten scheint, daß der Theil des Stromes, welcher den horizontalen Arm durchströmt, von demjenigen Theile abgestoßen wird, welcher durch das Quecksilber geht. Dieser Schluß ist aber nicht ganz streng, weil man die Art und Weise noch nicht kennt, wie ein Strom aus einer Flüssigkeit in einen festen Körper übergeht; es würde z. B. schon hinreichen, daß ein Theil des Stromes sich schräg gegen den Draht bewegte, um eine Abstoßung hervorzubringen.

Ferner muß noch angeführt werden, daß dieser Versuch keineswegs zu den leicht gelingenden gerechnet werden kann.

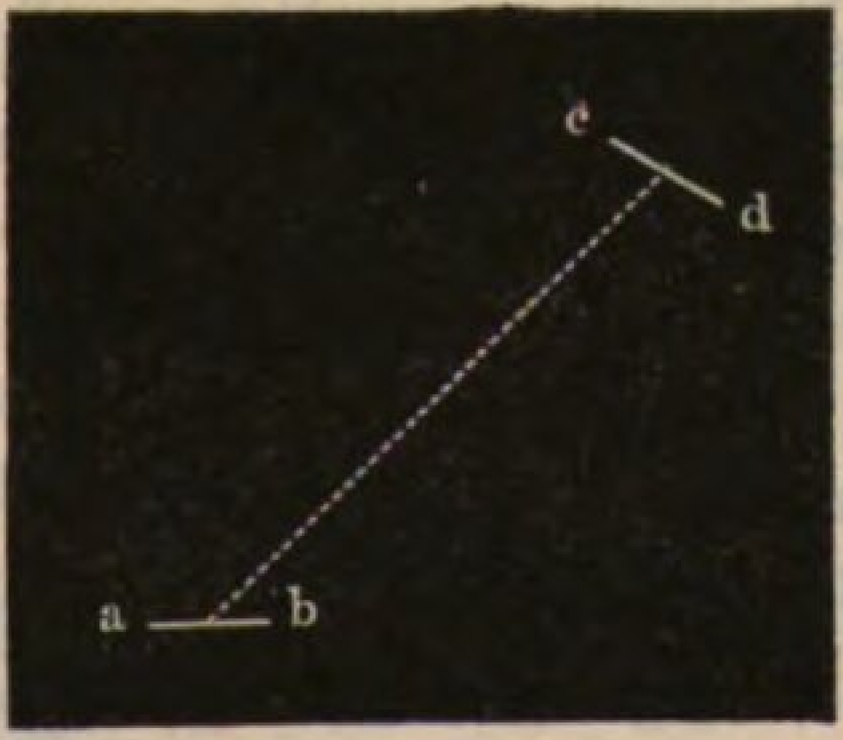
Wenn nun aber auch der experimentelle Beweis dieses letzteren Satzes allerdings noch zweifelhaft ist, so ist doch die Wahrheit, daß zwei gleichgerichtete Stromtheilchen *A* und *B*, Fig. 317, welche mit der Richtung ihrer Verbindungslinie zusammenfallen, eine abstoßende Wirkung auf einander ausüben, nicht in Zweifel zu ziehen, indem sie sich als nothwendige Folge der übrigen Gesetze ergiebt, nach welchen zwei Ströme auf einander wirken.

Wir haben die gegenseitige Wirkung zweier Ströme nur in einigen speciellen Fällen kennen gelernt. Ampère hat nun ein Gesetz aufgestellt, nach welchem sich für alle gegenseitigen Lagen die Einwirkung zweier Stromtheilchen

Fig. 317.



Fig. 318.



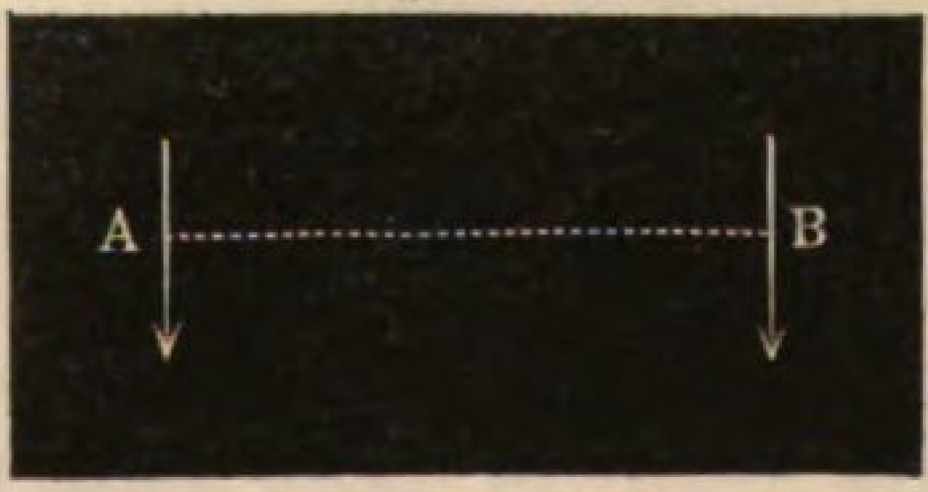
berechnen läßt. Dieses Gesetz, nach welchem die Theilchen *ab* und *cd*, Fig. 318, zweier Stromleiter auf einander wirken, ist nach Ampère durch die Gleichung

$$R = \frac{i\,i'}{r^2} \left(\cos.\ \varepsilon - {}^3/_2\ \cos.\ \Theta\ \cos.\ \Theta'\right) s s'$$

ausgedrückt, d. h. diese Gleichung drückt die Größe der Kraft aus, mit welcher die beiden Stromelemente (die jedoch nicht in einer Ebene zu liegen brauchen) auf einander in der Richtung derjenigen Linie wirken, welche ihre Mittelpunkte verbindet, vorausgesetzt, daß *r* die Entfernung dieser Mittelpunkte, *i* die Stromstärke in dem einen, *i'* die im anderen Stromelemente, *s* aber die Länge des

einen, s' die des anderen Stromelementes bezeichnet. Es ist ferner ε der Winkel, welchen cd mit ab macht; Θ ist der Winkel, welchen das eine, Θ' der Winkel, welchen das andere Stromelement mit ihrer Verbindungslinie macht. Für zwei parallele Stromtheilchen A und B, Fig. 319, welche bei gleicher Richtung rechtwinklig auf ihrer Verbindungslinie stehen, ist $\varepsilon = 0$, Θ und $\Theta' = 90^0$, es wird also:

Fig. 319.



$$R = \frac{ii'}{r^2} \cdot ss'.$$

Die Gleichung zeigt also in diesem Falle eine Anziehung an, wie sie auch der Versuch nachgewiesen hat. Da $cos.\ 180^0 = -1$, so wird der Werth von R negativ, wenn die beiden parallelen Ströme entgegengesetzte Richtung haben, also wenn $\varepsilon = 180^0$ ist. Für den Fig. 317 dargestellten Fall ist $\varepsilon = 0$, $\Theta = \Theta' = 0$, der Werth von R reducirt sich also auf

$$R = -\ {}^1/_2\ \frac{ii'}{r^2}\ ss'.$$

Die Ampère'sche Gleichung zeigt also für diesen Fall eine Abstoßung an; kurz wir sehen, daß das Ampère'sche Gesetz wirklich alle speciellen Fälle der gegenseitigen Einwirkung zweier Stromtheilchen umfaßt, die wir oben kennen gelernt haben.

Man kann sich die Wirkung, welche irgend zwei Stromelemente nach dem Ampère'schen Gesetz auf einander ausüben, dadurch versinnlichen, daß man sich jedes derselben durch ein kleines Magnetstäbchen ersetzt denkt, welches rechtwinklig auf der Stromrichtung steht und welches seinen Nordpol links, seinen Südpol rechts von derselben liegen hat. Diese beiden Magnetstäbchen, die man sich außerdem in der Ebene liegend denken muß, welche man durch die Verbindungslinie der beiden Stromelemente und die Richtung der einen gelegt denken kann, werden dieselbe anziehende oder abstoßende Wirkung auf einander ausüben, wie die Stromelemente, statt deren sie gesetzt wurden. Auf diese Weise übersieht man z. B. leicht, daß in dem Falle Fig. 320 Anziehung der Stromelemente stattfinden muß, Abstoßung aber für die in Fig. 321 und 322 dargestellten Fälle.

Fig. 320.

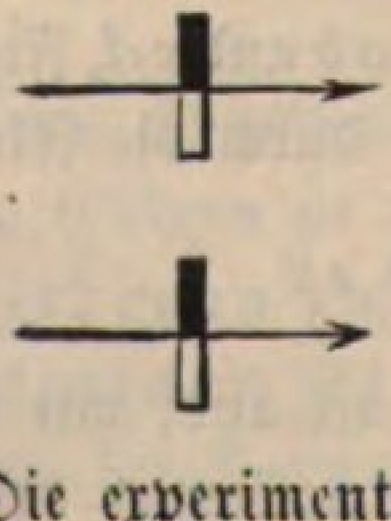


Fig. 321.

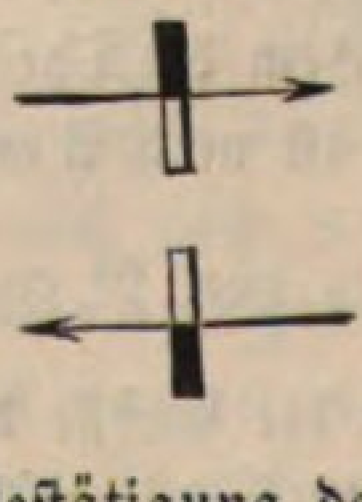
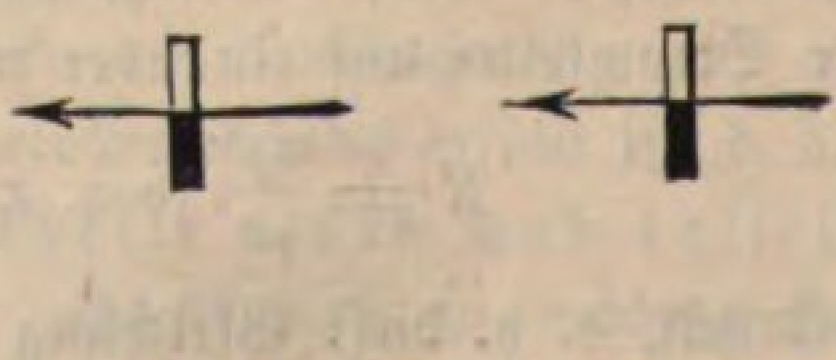


Fig. 322.



Die experimentelle Bestätigung der Ampère'schen Theorie ist allerdings etwas mangelhaft; vorzugsweise ist ins Auge zu fassen, daß sich jenes Gesetz auf die Wirkung zweier Stromelemente bezieht, wir aber unsere Versuche nur mit geschlossenen Strömen anstellen können, so daß wir die Wirkung

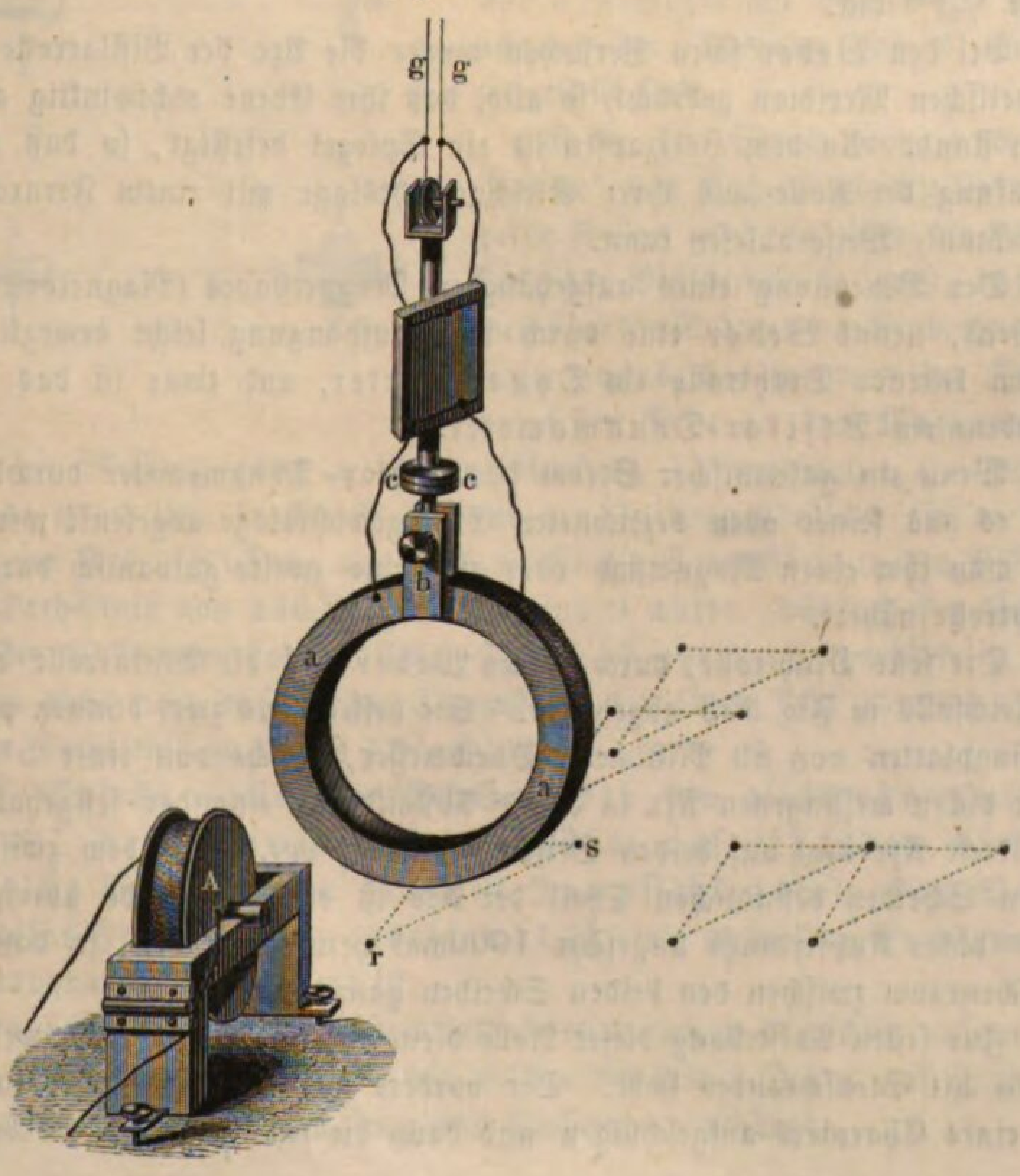
zweier Stromtheile auf einander nie ganz rein, wenn auch in günstigen Fällen entschieden überwiegend, darzustellen im Stande sind. Ampère selbst hat seine Theorie aus verhältnißmäßig mangelhaften Versuchen abgeleitet; alle seine Versuche sind qualitativer, nicht quantitativer Natur. Für eigentliche Messungen waren seine Apparate freilich nicht brauchbar.

Weber hat nun diese Lücke ausgefüllt. Zunächst hat er nicht die Wirkung einzelner Stromelemente auf einander untersucht, sondern er hat berechnet, welches nach der Ampère'schen Theorie die Gesammtwirkung zweier durchströmten Drahtrollen auf einander sein müsse, und hat dann dieses Resultat der Theorie durch messende Versuche geprüft.

Bei der Ampère'schen Aufhängung ist die Reibung, welche der bewegliche Stromleiter bei seiner Drehung zu überwinden hat, sehr bedeutend, ein Umstand, welchen die messende Bestimmung der hier wirkenden Kräfte unmöglich macht. Weber hat diese Schwierigkeit dadurch umgangen, daß er eine Drahtrolle bifilar aufhing und die beiden Aufhängungsdrähte als Zuleitung für den galvanischen Strom benutzte.

Eine der einfacheren Formen einer solchen Bifilarrolle sieht man in Fig. 323 abgebildet. Die Bifilarrolle a besteht aus einem dünnen Messing-

Fig. 323.



ringe von 100mm Durchmesser und 30mm Breite, welcher zwei parallele Messingscheiben von 123mm äußerem und 100mm innerem Durchmesser verbindet, und in 30mm Abstand von einander hält. Auf jenem Messingringe zwischen den beiden Scheiben ist ein Kupferdraht von $^1/_3$mm Durchmesser, der mit Seide übersponnen ist, ungefähr 3000mal herumgewunden, so daß er den Zwischenraum zwischen beiden Scheiben ganz ausfüllt. Nach Aufwindung des Drahtes wurden die beiden Messingscheiben durch eine messingene Klemme *b* verbunden, welche in ihrer Mitte den Torsionskreis *c* trägt. Die obere Scheibe des Torsionskreises trägt einen hölzernen Zapfen, welcher am oberen Ende eine Gabel mit einer sehr beweglichen 20mm Durchmesser haltenden Rolle trägt. Unter dieser Rolle ist ein seidener Faden weggeführt, welcher zu beiden Seiten der Rolle senkrecht nach oben geht und an den beiden Suspensionsdrähten *gg* angeknüpft ist. Mit den beiden Enden der Suspensionsdrähte sind nun noch die beiden Drahtenden der Rolle in Verbindung gebracht, so daß der galvanische Strom, in einem Aufhängedraht heruntersteigend, in die Drahtrolle übergeht und, nachdem er ihre Windungen durchlaufen hat, im anderen Suspensionsdrahte aufsteigend zurückkehrt. Die beiden Suspensionsdrähte sind an zwei an der Decke befindlichen isolirten Haken befestigt, durch welche die Zuleitung des Stromes stattfindet. Die Aufhängedrähte sind von Kupfer und bei 1 Meter Länge $^1/_6$mm dick.

Bei den Weber'schen Versuchen wurde die Axe der Bifilarrolle in den magnetischen Meridian gebracht, so also, daß ihre Ebene rechtwinklig auf demselben stand. An dem Holzzapfen ist ein Spiegel befestigt, so daß man die Ablenkung der Rolle aus ihrer Gleichgewichtslage mit einem Fernrohre auf die bekannte Weise ablesen kann.

Der Benennung eines aufgehängten Magnetstabes (Magnetometer) entsprechend, nennt Weber eine durch ihre Aufhängung leicht bewegliche, den Strom leitende Drahtrolle ein Dynamometer, und zwar ist das eben beschriebene ein Bifilar-Dynamometer.

Wenn ein galvanischer Strom das Bifilar-Dynamometer durchläuft, so wird es aus seiner oben bezeichneten Gleichgewichtslage abgelenkt werden, sobald man ihm einen Magnetstab oder auch eine zweite galvanisch durchströmte Drahtrolle nähert.

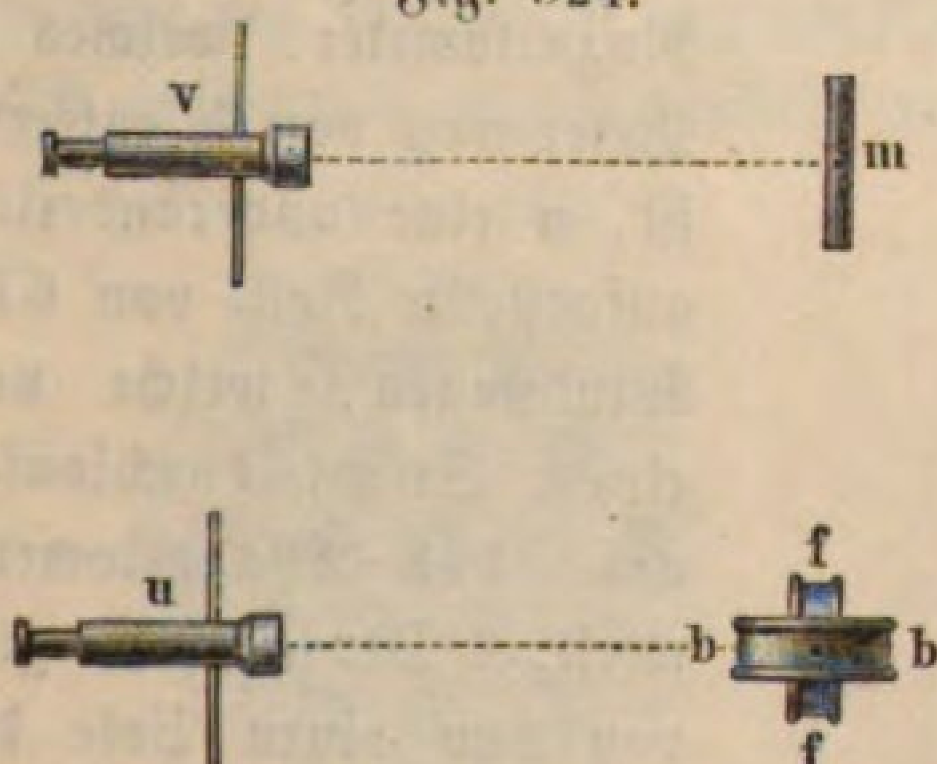
Die feste Drahtrolle, durch welche Weber auf die Bifilarrolle einwirkte, ist gleichfalls in Fig. 323 abgebildet. Sie besteht aus zwei dünnen parallelen Messingplatten von 89 Millimeter Durchmesser, welche von einer $5^1/_2$ Millimeter dicken messingenen Axe in 30mm Abstand von einander festgehalten werden; diese Axe ragt auf beiden Seiten um 10mm vor. Auf dem zwischen den beiden Scheiben befindlichen Theil der Axe ist ein mit Seide übersponnener $^1/_3$mm dicker Kupferdraht ungefähr 1000mal herumgewunden, so daß er den Zwischenraum zwischen den beiden Scheiben ganz ausfüllt.

Zur festen Aufstellung dieser Rolle dient ein hölzernes Gestell, welches auf Füßen mit Stellschrauben steht. Der vordere Fuß dieses Gestelles kann mittelst eines Charniers aufgeschlagen und dann die feste Rolle in die bewegliche

eingeschoben und so aufgestellt werden, daß die drei Stellschrauben auf die Punkte *rst* der Tischplatte zu stehen kommen (*t* ist in der Figur verdeckt). Bei dieser Stellung fallen die Mittelpunkte der festen und der beweglichen Rolle zusammen. Man kann aber auch die feste Rolle nördlich (wie es in der Figur der Fall ist) oder südlich, östlich oder westlich aufstellen. Um die feste Rolle jederzeit leicht in bestimmten Entfernungen von der beweglichen aufstellen zu können, sind auf der Tischplatte, wie es die Figur andeutet, eine Reihe von Punkten bezeichnet, auf welche man nur die drei Stellschrauben zu setzen braucht, damit der Mittelpunkt der festen Rolle in den erwähnten Richtungen 300, 400, 500 oder 600 Millimeter weit von dem Mittelpunkte der beweglichen entfernt ist.

Eine erste Beobachtungsreihe wurde bei derjenigen Stellung der festen Rolle gemacht, für welche die Mittelpunkte beider Rollen zusammenfallen. Ein und derselbe Strom wurde durch die Bifilarrolle und dann durch die feste Rolle hindurch geleitet und die Stärke des Stromes durch die Ablenkung gemessen, welche die feste Rolle an einem nördlich oder südlich angebrachten Magnetometer bewirkt. Die Anordnung des Versuches ist aus Fig. 324 ersichtlich. *bb* ist die Bifilarrolle, *ff* die feste Rolle und *m* das Magnetometer, während bei *u* und *v* Fernröhre mit Scalen zur Beobachtung der Drehung von *b* und *m* aufgestellt sind.

Fig. 324.



Wenn der Strom von 1 bis 3 Grove'schen Bechern gleichzeitig durch beide Rollen geht, so wird die Ablenkung der Bifilarrolle so groß, daß sie weit über die Gränzen der Beobachtungsscala hinausgeht, während der Strom der festen Rolle an dem Magnetometer eine für die Messung ganz geeignete Ablenkung hervorbringt. Um diesem Uebelstande abzuhelfen, brachte Weber an den Zuleitungsdrähten für die Bifilarrolle eine Nebenschließung an, durch welche die Stromstärke in der Bifilarrolle im Verhältniß von 246,26 zu 1 vermindert wurde, während der Strom in der festen Rolle unverändert blieb. Freilich ist jetzt die Stromstärke in beiden Rollen nicht mehr dieselbe, die Stromstärke der einen steht aber in einem constanten Verhältniß zu der in der anderen.

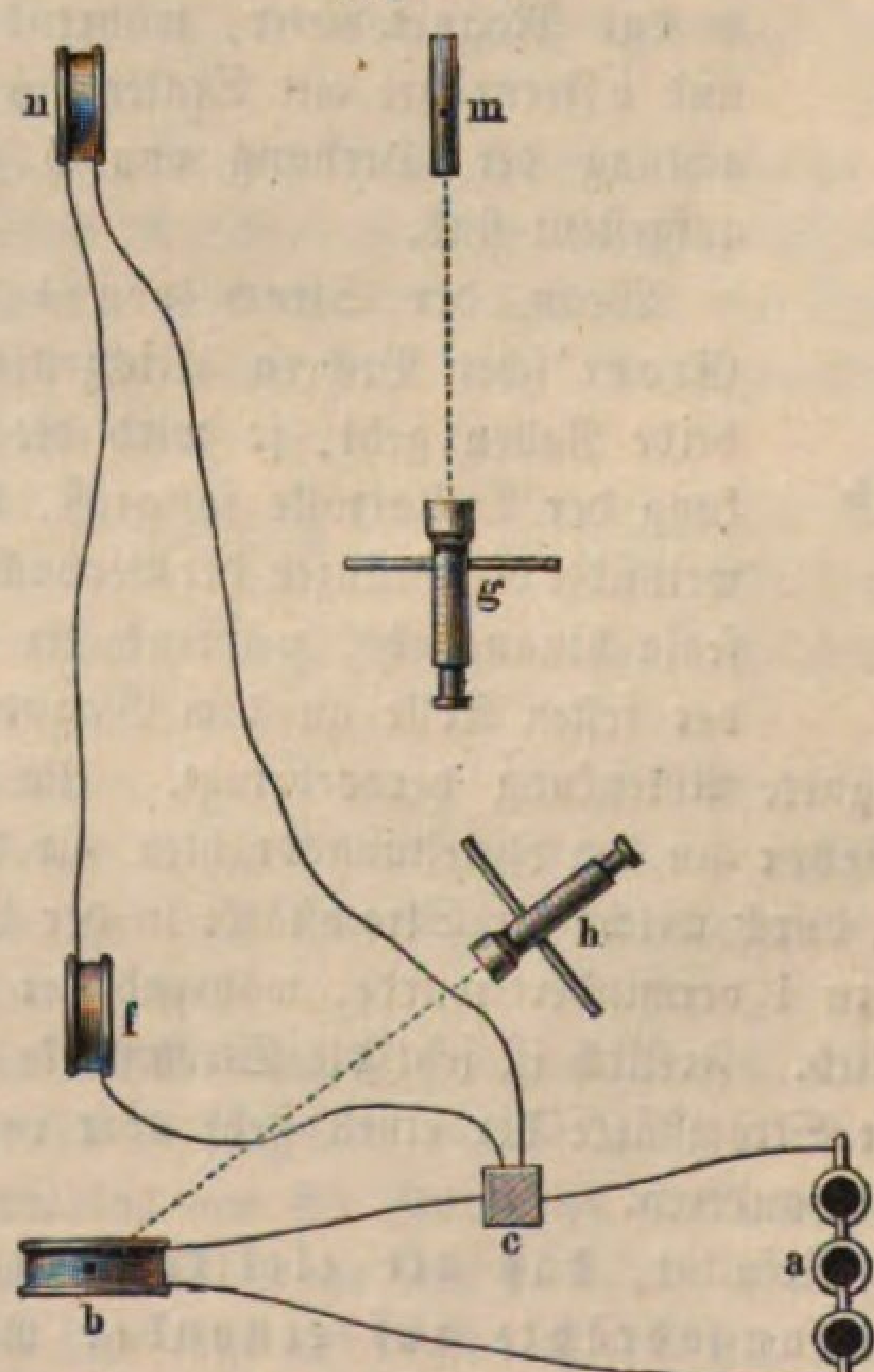
Diese Versuche ergaben das Resultat, daß die elektrodynamische Kraft, mit welcher zwei Leitungsdrähte auf einander wirken, durch welche Ströme von gleicher Intensität gehen, dem Quadrate dieser Intensität proportional ist, wie es in dem Grundprincip der Elektrodynamik vorausgesetzt ist.

Hierauf folgte nun eine größere Versuchsreihe, um zu erforschen, auf welche Weise die elektrodynamische Kraft, mit welcher die beiden Rollen auf einander wirken, von ihrer gegenseitigen Lage und Entfernung abhängt.

Zu diesem Zwecke wurde die feste Rolle der Reihe nach nördlich, östlich, südlich und westlich von der Bifilarrolle aufgestellt, wie dies schon oben auseinandergesetzt worden ist. Dieses System der Anordnung verschiedener Lagen und Entfernungen der beiden Drahtrollen entspricht, wie man leicht sieht, genau dem System der Anordnung verschiedener Lagen und Entfernungen der beiden Magnete, welche Gauß seinen Messungen zu Grunde gelegt hat, um das Grundprincip des Magnetismus zu erweisen. Der bifilar aufgehangene Ring vertritt hierbei die Stelle des Magnetometers oder der Magnetnadel, die feste Rolle die Stelle des Ablenkungsstabes.

Gleichzeitig mit den Ablenkungen des Dynamometers muß aber auch die Stromstärke gemessen werden. Auf die bei der vorigen Versuchsreihe angewandte Weise kann dies hier nicht geschehen, weil die Stellung der festen Rolle verändert wird; es wurde deshalb der Strom auch noch durch eine dritte unveränderlich fest stehende Drahtrolle geführt und die Ablenkung gemessen, welche diese an einem Magnetometer bewirkt. Die ganze Anordnung ist aus Fig. 325 zu ersehen.

Fig. 325.



b ist die Bifilarrolle, *f* die verstellbare Rolle, *m* ein Magnetometer, welches 8 Meter weit von *b* entfernt ist, *n* eine unveränderlich aufgestellte Rolle von 618 Windungen, welche von einem Strom durchlaufen auf das Magnetometer wirkt. Der Strom geht von dem einen Pole der galvanischen Säule *a* zur Bifilarrolle, von dieser zum Commutator *c*, dann über die Rolle *f* zur Rolle *n*, von dieser zurück zum Commutator und von diesem endlich zum anderen Pole der Säule.

Durch den Commutator kann also die Stromrichtung in *f* und *n* geändert werden, während sie in der Bifilarrolle *b* stets dieselbe bleibt.

Es wurde nun bei jeder gegenseitigen Lage und Entfernung der beiden Drahtrollen *f* und *b* die Stellung von *m* und *b* für die eine Stromrichtung ermittelt, dann der Strom in *f* und *n* mittelst des Commutators umgekehrt und

nochmals die Stellung von *b* und *m* abgelesen. Die Differenz der beiden Ablenkungen am Dynamometer geben ein Maaß für die Kraft, mit welcher die beiden Drahtrollen *b* und *f* auf einander wirken.

Da wir nun wissen, daß die elektrodynamische Wirkung der beiden Drahtrollen auf einander dem Quadrat der Stromstärke proportional sind, so ist man, vermöge der am Magnetometer gemachten Messungen der Stromstärke, im Stande, die gemessenen Ablenkungen der Bifilarrolle auf gleiche Stromstärke zu reduciren.

Diese Versuche gaben nun das wichtige Resultat, daß für die elektrodynamischen Wirkungen, welche diese beiden Drahtrollen in der Ferne auf einander ausüben, wirklich dieselben Gesetze gelten, wie für die gegenseitige Wirkung zweier Magnete, wie sich dies auch aus dem Ampère'schen Gesetze ergiebt.

Ampère's Theorie des Magnetismus. Das Princip dieser 128
Theorie besteht darin, jedes Molekül eines Magneten als von einem in sich selbst zurückkehrenden Strom umkreist zu denken, den man der Einfachheit wegen als kreisförmig annehmen kann. Man stellt sich also nach dieser Theorie jeden auf der Axe des Magneten rechtwinkligen Querschnitt ungefähr auf die durch Fig. 326 anschaulich gemachte Weise vor. Statt aller der elementaren Ströme eines

Fig. 326.

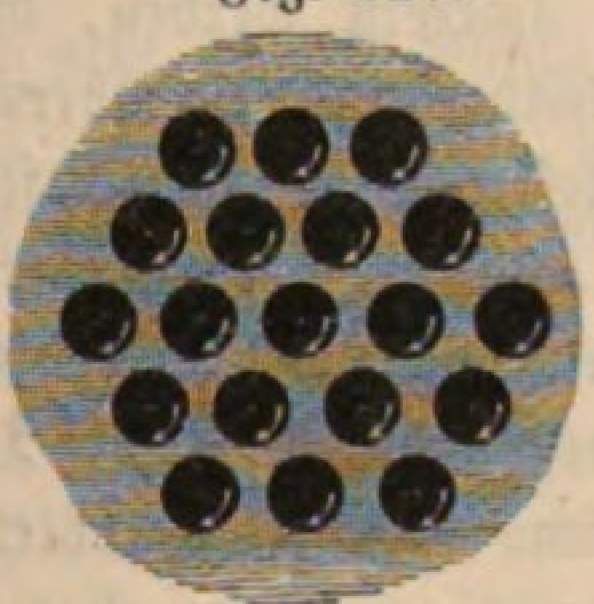


Fig. 327.

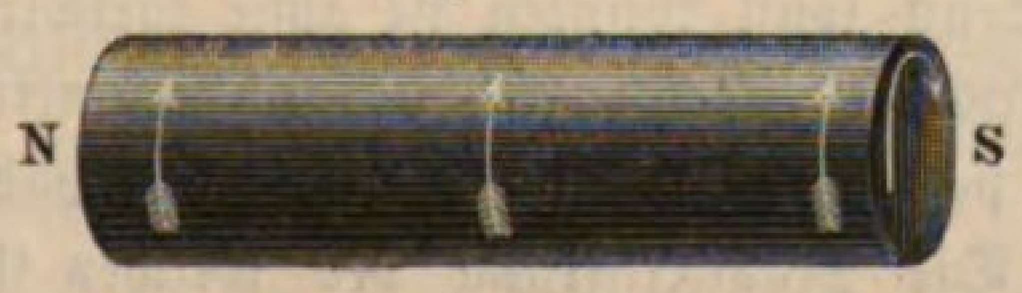
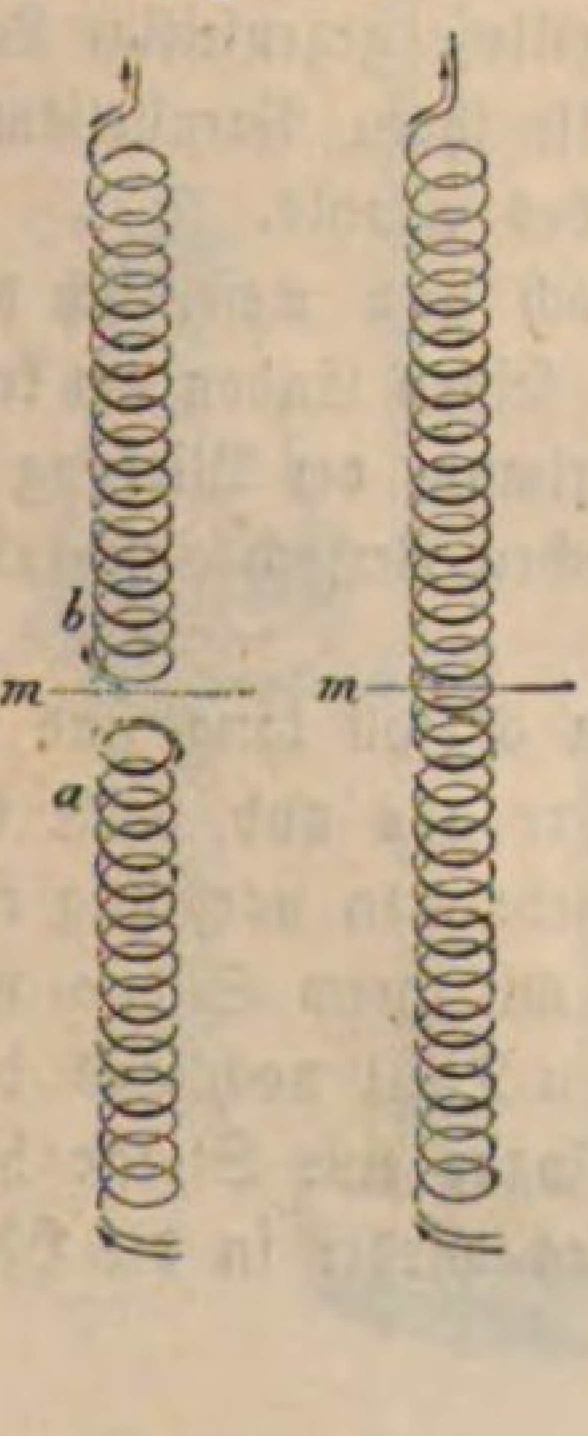


Fig. 328.



jeden Querschnittes aber kann man sich denselben von einem einzigen Strome umkreist denken, welcher gleichsam die Resultirende aller elementaren Ströme dieses Querschnitts ist, und somit läßt sich ein Magnetstab als ein System unter sich paralleler geschlossener Ströme denken, ungefähr so, wie es Fig. 327 anschaulich macht.

Was hier von einem Magnetstabe gesagt ist, läßt sich auch auf eine Magnetnadel, kurz auf jeden Magneten, welche Form er auch haben mag, anwenden.

Denken wir uns einen Schraubendraht, welcher sich von *m*, Fig. 328, aus nach beiden Seiten hin erstreckt, und welchen der Strom in der Richtung der Pfeile durchläuft; denken wir uns denselben ferner bei *m* durchgeschnitten, so folgt aus unserer Definition, daß bei *a* ein Südpol und bei *b* ein Nord-

pol ist; denn wenn man sich dem Pole bei *a* zuwendet, so hat man den aufsteigenden Strom zur Linken; wendet man sich aber dem Pole *b* zu, so hat man ihn zur Rechten.

Schneidet man also einen Schraubendraht rechtwinklig zu seiner Axe durch, so entstehen zwei ungleichnamige Pole, gerade so, wie wenn man einen Magneten durchbricht.

Ferner ist klar, daß sich die ungleichnamigen Pole *a* und *b* anziehen, denn wenn wir die Endkreise betrachten, so sieht man schon, daß hier die Ströme parallel und gleich gerichtet sind, ebenso ist es aber mit allen anderen.

Um die Erklärung der Anziehung und Abstoßung der Pole in verschiedenen Stellungen der Magnete gegen einander recht anschaulich zu machen, zeichnet man am besten auf Cylinder von Holz oder Pappe, die ungefähr 1 bis 1,5 Fuß lang sind und 2 bis 3 Zoll im Durchmesser haben, Pfeile in der Weise, wie man Fig. 327 sieht, welche die Richtung der Ströme darstellen; ferner bezeichne man noch auf beiden Cylindern die gleichnamigen Pole auf dieselbe Weise, etwa die Nordpole mit *N*, die Südpole mit *S*. Mit Hülfe zweier solcher Modelle läßt sich leicht begreiflich machen, warum gleichnamige Pole sich immer abstoßen, ungleichnamige immer anziehen, in welcher Weise sie man auch übrigens einander nähern mag.

Nach dieser Theorie muß man also annehmen, daß die Eisentheilchen beständig von den erwähnten Elementarströmen umkreist werden, die auf ihrem Wege um das Eisenmolekül keinen Leitungswiderstand zu überwinden haben, denn sonst könnten sie ohne fortwirkende elektromotorische Kraft nicht continuirlich sein. In einem Stahlmagneten sind nun diese Elementarströme einander parallel, im weichen Eisen aber haben sie alle möglichen verschiedenen Lagen. Die Magnetisirung des weichen Eisens besteht nach dieser Theorie nur darin, daß die schon vorhandenen Elementarströme parallel gerichtet werden; die Gränze der Magnetisirung ist erreicht, wenn die Ströme aller Eisenmoleküle die gleiche Lage haben. Hört die magnetisirende Kraft zu wirken auf, so kehren die Ströme wieder in ihre vorherige regellose gegenseitige Lage zurück; nur im Stahl behalten sie wenigstens theilweise ihren Parallelismus bei, und darauf beruht das Bleiben des Magnetismus des Stahls.

Ein elektrodynamischer Schraubendraht ist aber doch noch wesentlich von einem Magneten verschieden. Während ein Magnet an seinen Enden am kräftigsten wirkt, findet sich beim Schraubendraht das Maximum der Wirkung in der Mitte. Poggendorff hat dies durch einen einfachen Versuch anschaulich gemacht.

Man verschaffe sich einen hohlen Magnetstab, etwa 3 Zoll lang und inwendig 2,5 Linien weit; füttere ihn mit einer Glasröhre aus und halte ihn senkrecht, z. B. mit dem Nordpol nach oben. Nun schiebe man vorsichtig eine leichte magnetische Nähnadel von etwa 9 Linien Länge mit ihrem Südpol von oben hinein. Sie wird nicht durchfallen, sondern zum Theil noch aus dem Magnet hervorragend oben schweben. Man kann sie sogar eine Strecke hinunterdrücken, und sie steigt nach Aufhebung des Druckes wieder in die Höhe.

Bei einem Schraubendrahte aber begiebt sich die Nadel sogleich in die Mitte und bleibt dort schweben, wenn der Strom stark genug ist.

Um nach der Ampère'schen Theorie die Erscheinungen des Erdmagnetismus zu erklären, muß man sich die Erde von elektrischen Strömen umkreist denken, welche im Wesentlichen dem magnetischen Aequator parallel sind, und zwar läßt sich leicht aus der Stellung, welche ein beweglicher Leiter, Fig. 301 Seite 337, am Ampère'schen Gestell unter dem Einfluß des Erdmagnetismus einnimmt, der Schluß ziehen, daß diese Erdströme von Ost nach West gehen.

Rotation eines beweglichen Stromes um einen Magneten. 129

Es sei *abc*, Fig. 329, der horizontale Durchschnitt eines vertical stehenden Magneten, *s* ein zum Punkt verkürzt erscheinender verticaler Strom, den wir aufsteigend annehmen wollen und welcher um die verticale Axe *N* drehbar ist, so ist nach den §. 127 auseinandergesetzten Principien klar, daß das Stück *ab* des Magnetenstromes den Strom *s* abstoßen, *bc* aber ihn anziehen wird, der Strom *s* muß also in der Richtung des Stromes im Magneten rotiren. Wäre der Strom *s* niedergehend, so würde die Richtung der Rotation die entgegengesetzte werden; ebenso wird natürlich die Umkehrung der Rotationsrichtung durch eine Umkehrung der magnetischen Pole bewirkt.

Fig. 329.

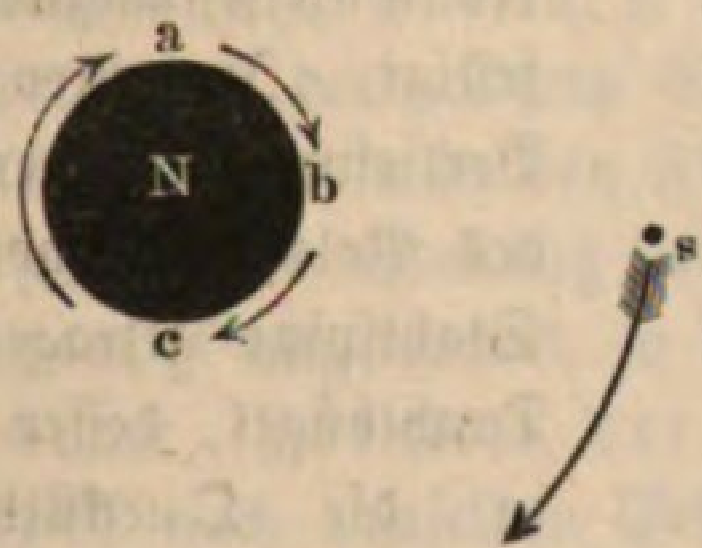
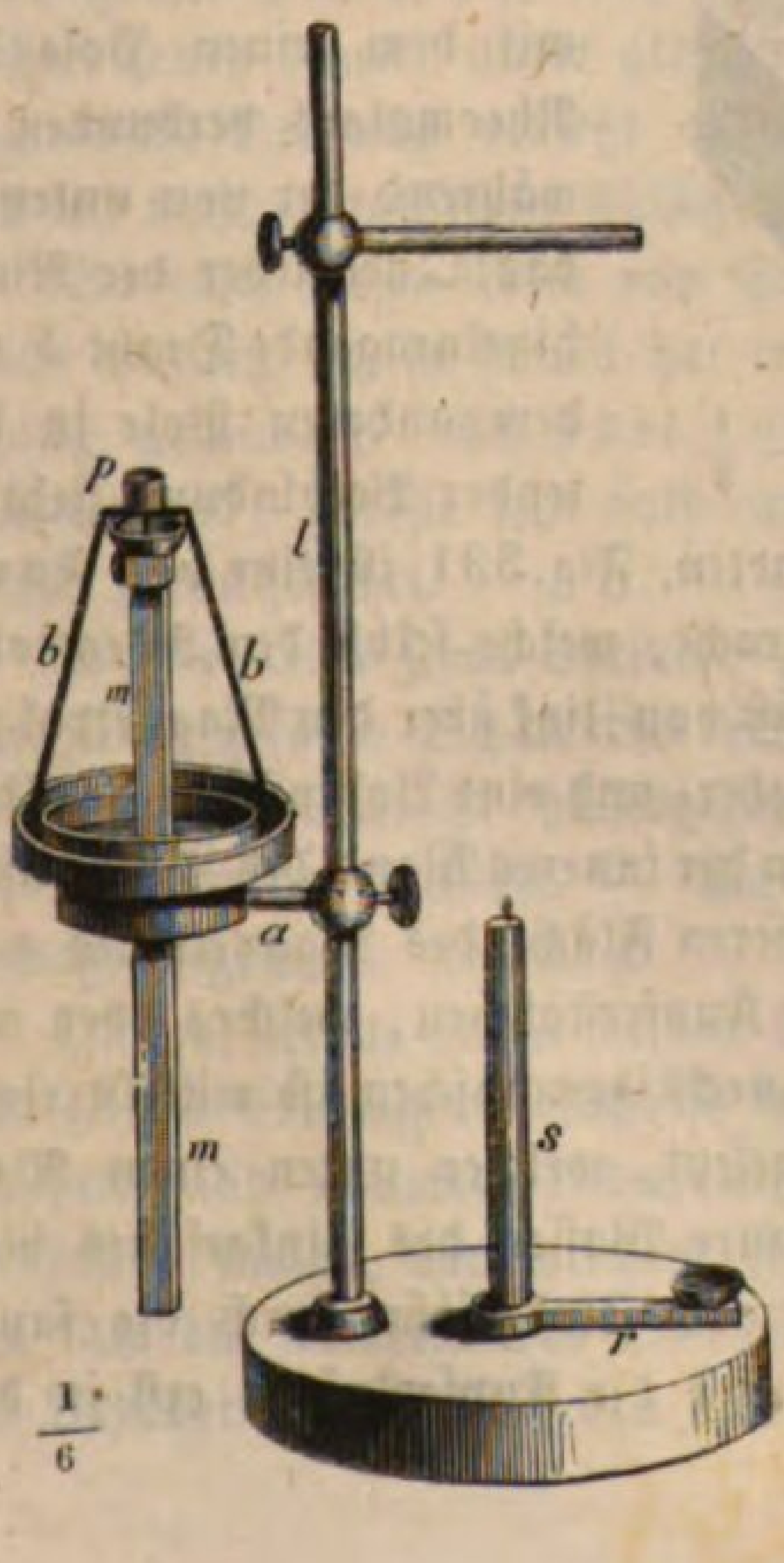


Fig. 330.



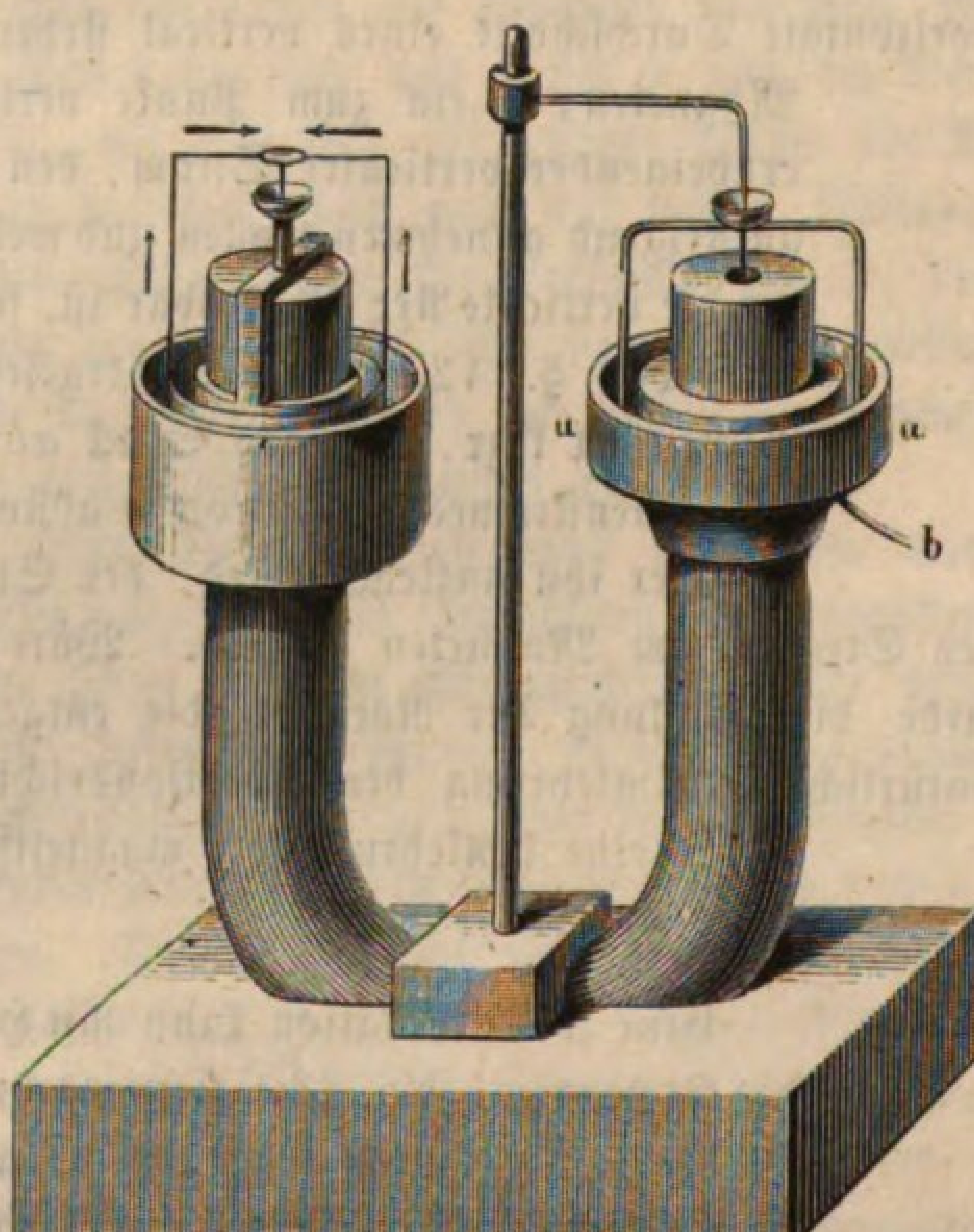
Eine solche Rotation kann mit Hülfe des Apparates, Fig. 330, hervorgebracht werden. An einem verticalen Stabe *l* ist ein horizontaler Stab *a* verschiebbar, so daß man ihn in jeder beliebigen Höhe und in jeder Richtung mit Hülfe einer Schraube feststellen kann. Dieser horizontale Stab trägt einen Messingring, auf welchem eine kreisförmige hölzerne, mit Quecksilber zu füllende Rinne aufgesetzt wird. In dem Messingringe steckt eine Korkscheibe, durch deren Mitte ein verticaler Magnetstab *m* hindurchgeht, an welchem oben eine Hülse mit einem Stahlnäpfchen angeschraubt ist. In diesem Stahlnäpfchen sitzt eine feine Spitze auf, welche einen kupfernen Bügel *b* trägt, der auf beiden Seiten herunter-

gebogen ist, so daß seine unteren mit einer Platinspitze versehenen Enden in die Quecksilberrinne eintauchen. In der Mitte dieses Kupferbügels befindet sich ein Quecksilbernäpfchen *p*. Wird nun der eine Poldraht der Säule in dieses Quecksilbernäpfchen *p*, der andere aber in die Rinne getaucht, so durchläuft der Strom die beiden Arme des Kupferbügels, welcher alsbald zu rotiren beginnt.

Die Wirkung des Magneten auf den Strom in dem einen Arme des Kupferbügels wird durch die Wirkung unterstützt, welche der Magnet auf den Strom im anderen Arme des Kupferbügels hervorbringt.

Fig. 331 zeigt zwei Abänderungen dieses Versuches. Eine Hülse *aa* von Holz, ganz ähnlich der in der vorigen Figur, und in gleicher Weise mit einer Rinne zur Aufnahme von Quecksilber versehen, ist auf einem Pol eines starken Hufeisenmagneten befestigt. In einer kleinen Vertiefung in der Mitte des Pols sitzt, von einer Stahlspitze getragen, ein Drahtbügel, dessen Enden in die Quecksilberrinne hinabhängen. In der Mitte ist dieser Drahtbügel mit einem Quecksilbernäpfchen versehen, in welches eine Drahtspitze eintaucht, die mit dem einen Pole des Rheomotors verbunden ist, während der von unten in das Quecksilber der Rinne hineinragende Draht *b* mit dem anderen Pole in leitender Verbindung steht.

Fig. 331.



$\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{3}$

Auf dem anderen Pole des Hufeisenmagneten, Fig. 331, ist eine von Faraday angegebene Rotationsvorrichtung angebracht, welche selbst den Rheomotor bildet. Statt der hölzernen Rinne ist ein Gefäß von Zink über den Magnetpol geschoben, welches, durch zwei concentrische Cylinder- und eine Bodenfläche gebildet, mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt wird. An der inneren Wand des Zinkgefäßes ist ein Zinkbügel befestigt, welcher auf der oberen Fläche des Magnetpoles aufsitzt. Auf der Mitte dieses Bügels steht ein Kupferstäbchen, welches oben mit einem Quecksilbernäpfchen endet; in dieses Quecksilbernäpfchen ist mittelst einer Stahlspitze ein Bügel von Kupferdraht eingesetzt, welcher unten einen Ring von dünnem Kupferblech trägt, der in das saure Wasser des Zinkgefäßes hineinhängt. Es geht nun der positive Strom vom Zinkgefäße durch die saure Flüssigkeit zum Kupferstreifen, von diesem durch die Kupferdrähte erst in die

Höhe, dann horizontal fort zum Quecksilbernäpfchen; es muß also die Rotation nach dem angeführten Gesetze eintreten.

In den beiden letztgenannten Fällen ist es jedoch nicht allein die Einwirkung des Magneten auf den im Drahte aufwärts gehenden Strom, welcher die Rotation bewirkt, sondern diese rührt zum Theil auch von der Einwirkung des Magnetpols auf den horizontalen Theil des beweglichen Stromleiters her.

Humphry Davy hat die erste hierher gehörige Beobachtung gemacht; er entdeckte nämlich (1821) die Rotation des galvanischen Flammenbogens unter dem Einfluß eines Magnetpoles. Durch die Bewegung der erhitzten Luft wird der Lichtbogen bestimmt, stets eine nach oben gewölbte Biegung anzunehmen. Dieser Flammenbogen ist aber ein beweglicher Leiter, auf welchen der Erdmagnetismus eine richtende Kraft ausübt und so kommt es, daß bei horizontal gegenüberstehenden Kohlenspitzen der Flammenbogen nie ganz vertical steht, sondern, je nach der Lage der Kohlenspitzen, bald nach der einen, bald nach der anderen Seite geneigt ist. Durch die Annäherung eines Magnetstabes kann man den Flammenbogen aus seiner, durch den Erdmagnetismus bestimmten Stellung heraustreiben. Wird statt des einen Kohlenpoles ein Magnetpol angewendet, so daß der Flammenbogen sich zwischen Kohle und Stahl bildet, so rotirt der Flammenbogen um den magnetischen Stahlpol nach denselben Gesetzen, nach welchen überhaupt ein beweglicher Strom um einen festen Magneten rotirt.

Faraday entdeckte in demselben Jahre die Rotation eines starren Stromleiters um einen Magnetpol und gab dadurch den Schlüssel zur Erklärung der Erscheinung, welche am Flammenbogen beobachtet worden war. Im Jahre 1823 zeigte Davy, daß auch ein flüssiger metallischer Leiter, Quecksilber oder geschmolzenes Zinn, unter gleichen Umständen, wie ein starrer, in elektromagnetische Drehung versetzt werden kann, eine Thatsache, welche späterhin auch bei nicht metallischen flüssigen Leitern nachgewiesen wurde.

So rasch dieser Kreis von Erscheinungen in experimenteller Hinsicht durchforscht worden ist, so schnell hat er auch in theoretischer Beziehung seine Erledigung gefunden. Ampère, obwohl die continuirlichen Rotationen nicht voraussehend, hat sie sehr bald auf die von ihm entdeckten elektrodynamischen Gesetze zurückgeführt.

Davy stellte seine Versuche zuerst in der Art an, daß er in eine mit Quecksilber gefüllte Schale die beiden Poldrähte einer sehr kräftigen Volta'schen Batterie lothrecht hinabgehen ließ, und nun von unten oder oben her einen Magnetpol näherte. — Das Quecksilber rotirte um die beiden Drähte in entgegengesetzter Richtung.

Hierauf leitete er die beiden Drähte von unten her, durch den Boden der Schale, und überzog dieselben so weit mit Siegellack, daß nur ihre zuvor abgeflachten und polirten Enden entblößt blieben und mit dem Quecksilber in Berührung kamen, von welchem sie nur etwa eine Linie hoch bedeckt wurden. Jetzt kam die Rotation des Quecksilbers auch ohne Magnet, nur nicht so stark, zum Vorschein, und über den beiden Drahtenden zeigte sich eine Hebung des

Quecksilbers von 1 bis 2 Linien, es bildeten sich also zwei Kegel, von deren Gipfel das flüssige Metall fortwährend nach allen Seiten abfloß. Durch die Annäherung eines Magnetpoles von oben her konnten diese Kegel bis zum Spiegel des Quecksilbers abgeflacht, ja sogar eine Vertiefung hervorgebracht werden, während die Masse zugleich schneller herumwirbelte.

Nach Poggendorff's Ansicht entspringt die Hebung des Quecksilbers über den Enden der Polardrähte aus der Repulsion, welche, nach Ampère's Theorie, die Theile eines Stromes in seiner eigenen Richtung auf einander ausüben.

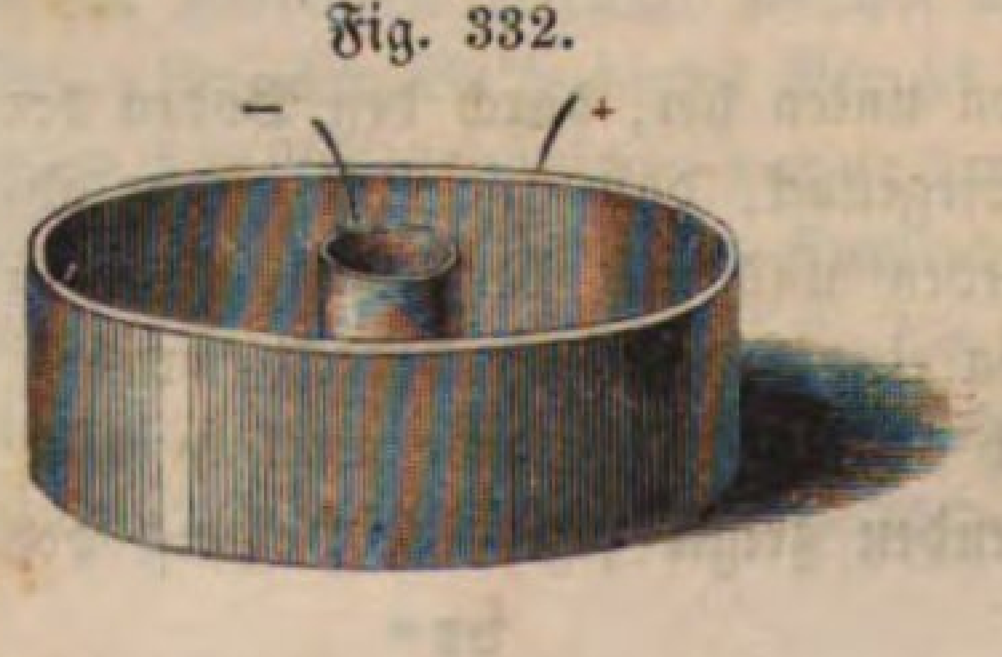
Die Depression des Quecksilbers, welche durch einen Magnetpol hervorgebracht wird, erklärt sich einfach durch die bei der rascheren Rotation kräftiger wirkende Centrifugalkraft.

Um diese Depression auch mit geringeren Mitteln hervorzubringen, verfuhr Poggendorff folgendermaßen: In ein Uhrglas oder Porzellanschälchen wird etwa eine Unze Quecksilber gegossen und das Gefäß auf eine vertical stehende Drahtrolle gesetzt, die einen Eisenkern umschließt; für diese Drahtrolle kann man natürlich auch den einen Schenkel eines Uförmigen Elektromagneten in Anwendung bringen, deren Pole nach oben stehen. — In das flüssige Metall werden nun zwei Drähte von Eisen oder Platin eingetaucht, der eine nahe am Rande, der andere in der Mitte der runden Masse, und zwar der letztere so, daß er nur etwa $1/2$ Linie in das Quecksilber eintaucht. Werden nun die erforderlichen Verbindungen gemacht, um den Strom einer galvanischen Kette durch die Windungen der Magnetisirungsspirale und dann durch den einen der besprochenen Drähte in das Quecksilber ein-, durch den anderen Draht herauszuleiten, so tritt beim Schließen der Kette sogleich eine lebhafte Rotation des Quecksilbers ein.

Im ersten Moment geschieht die Rotation um beide Drähte in entgegengesetzter Richtung, aber bald überwiegt die um den centralen Draht, wegen seiner vortheilhafteren Stellung, und nun hat man also nur eine einzige Rotationsrichtung. In Folge der durch diese Rotation erzeugten Centrifugalkraft senkt sich das Quecksilber in der Mitte, und wenn der centrale Draht nicht zu tief eingetaucht ist, kommt bald ein Moment, wo das Quecksilber sich von ihm abtrennt und dadurch eine Unterbrechung des Stromes bewirkt. Die Rotationsgeschwindigkeit des Quecksilbers nimmt nun allmälig ab, es steigt in der Mitte, bis es endlich wieder mit dem centralen Draht in Berührung kommt, wo dann die Rotation mit anfänglicher Geschwindigkeit von Neuem beginnt.

Die Rotation nicht metallischer flüssiger Leiter läßt sich am bequemsten in folgender Weise zeigen. Zwei concentrische Ringe von Kupferblech, deren größerer ungefähr 5, deren kleinerer 1 Centimeter Durchmesser hat, Fig. 332, sind durch einen wohlgefirnißten eingekitteten Boden von Holz zu einem Gefäße verbunden, welches mit einer leitenden Flüssigkeit, etwa mit

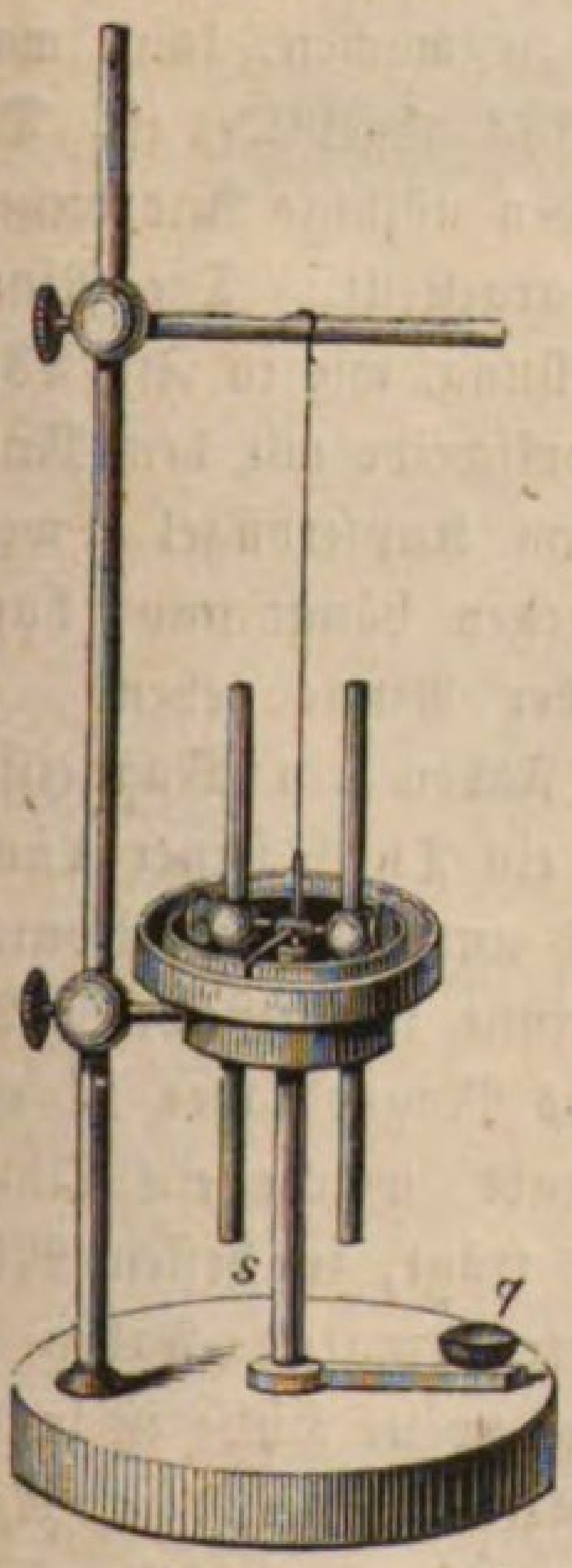
Fig. 332.



einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt wird. Setzt man dieses Gefäß auf den einen Pol eines kräftigen Elektromagneten, verbindet man dann die eine Kupferwand mit dem positiven, die andere mit dem negativen Pole eines constanten Bechers, so beginnt alsbald die elektromagnetische Rotation der Flüssigkeit.

Rotation eines beweglichen Magneten um einen festen Strom. 130
Wäre der Strom *s*, Fig. 329, fest, der Magnet *abc* aber um *s* drehbar, so würden dieselben Kräfte, welche im vorigen Falle den Strom um den Magneten drehten, nun den Magneten in Rotation versetzen. Derselbe Apparat Fig. 330, welcher gedient hat, die Rotation eines Stromes um einen Magneten zu zeigen, kann mit einigen Abänderungen auch dienen, um einen Magneten um einen festen Strom rotiren zu lassen. Zunächst wird die Korkscheibe mit dem Magnetstab *m* und dem Kupferbügel *b* weggenommen, der horizontale Stab *a* aber in der Weise festgeschraubt, daß das obere Ende des Kupferstabes *s* den Mittelpunkt der Holzrinne bildet, wie dies Fig. 333 der Fall ist. Am oberen Ende des Kupferstabes *s* befindet sich eine Höhlung, welche mit Quecksilber gefüllt wird. In dieser Höhlung hängt von oben herab ein Metallstiftchen, so daß sein unteres Ende in das Quecksilber eintaucht, ohne den Boden zu berühren. An dieses an einem Seidenfaden herabhängende Metallstäbchen ist ein horizontaler Querstab befestigt, welcher mit zwei Kugeln endigt, in denen zwei Magnetstäbe so stecken, daß beide ihren Nordpol oben oder beide ihren Nordpol unten haben.

Fig. 333.



$\frac{1}{6}$

In der Mitte des erwähnten horizontalen Querstabes ist rechtwinklig zu seiner Richtung ein anderes Metallstäbchen angesetzt, welches mit einer nach unten umgebogenen Platinspitze endigt; diese Platinspitze taucht in das Quecksilber der hölzernen Rinne. Wenn nun der eine Pol der Kette in das Quecksilbernäpfchen *q*, der andere in die Holzrinne getaucht wird, so geht der Strom von *q* durch *s*, von dem oberen Ende des Stäbchens *s* durch das Horizontalstäbchen in die Rinne, oder er circulirt in entgegengesetzter Richtung. Sobald der Strom zu circuliren beginnt, fängt auch das ganze an dem Faden hängende System mit den beiden Magnetstäben an, um die durch den Faden gebildete verticale Axe zu rotiren. Die Wirkung des verticalen Stromes in *s* auf den einen Magnetstab wird durch die Wirkung des Stromes auf den anderen Magnetstab unterstützt. Wäre der Nordpol des einen und der Südpol des anderen Magneten nach unten gekehrt, so würden sich die Wirkungen des Stromes auf die beiden Magnetstäbe gegenseitig aufheben.

Die Richtung der Rotation hängt davon ab, ob die Nordpole oder die Südpole der Magnete nach unten gekehrt sind, und in welcher Richtung der Strom circulirt. Nehmen wir an, der positive Strom stiege in *s* in die Höhe, so müßte in diesem Stäbchen die Ampère'sche Figur aufrecht stehen. Wenn nun der Südpol der beiden Magnete nach unten gekehrt ist, so wird, wenn die Figur nach einem Magnetstabe hinsieht, die Rotation nach ihrer rechten Seite hingehen, die Magnete rotiren also in der Richtung wie der Zeiger einer Uhr.

Wenn man den Strom durch die eine Hälfte der Axe eines Magneten selbst auf- oder niederströmen läßt, so rotirt er um seine eigene Axe, wenn seine Aufhängung oder seine Aufstellung eine solche Rotation erlaubt.

Die Richtung der Drehung findet ganz in der Weise Statt, wie es das Ampère'sche Gesetz verlangt. Ist nämlich das Nordende oben, so dreht sich dasselbe immer nach der linken Seite der in den Strom eingeschaltet gedachten menschlichen Figur. Ist das Südende oben, so geht die Bewegung in umgekehrter Richtung vor sich.

Um einen Magneten um seine eigene Axe rotiren zu machen, kann man dasselbe Stativ anwenden, welches Fig. 330 und Fig. 333 abgebildet ist. Die zu diesen Versuchen nöthige Anordnung ist Fig. 334 dargestellt. Die Rinne hat dieselbe Stellung, wie in Fig. 330, jedoch ist die Korkscheibe mit dem Magneten *m* und dem Kupferbügel *b* weggenommen, dagegen hängt nun, durch das Centrum der Rinne gehend, an einem seidenen Faden ein Magnetstab herab, so daß ein Theil seiner Länge über, ein Theil unter der Horizontalebene der Holzrinne sich befindet. Am oberen Ende des Magnetstabes ist eine Hülse angeschraubt, welche ein Quecksilbernäpfchen *t* trägt, in dessen Mitte der den Magneten tragende Faden befestigt ist. Eine zweite Hülse ist in der Höhe der Holzrinne an den Magnetstab angeschraubt, von dieser führt ein Metallstäbchen, welches mit einer nach unten gebogenen Platinspitze versehen ist, zu der Rinne. Sobald das eine Polende der Kette in das Quecksilbernäpfchen *t*, das andere in die Holzrinne eingetaucht ist, beginnt die Rotation des Magneten um seine eigene Axe. Der Strom durchläuft das horizontale Stäbchen und das obere Ende des Magnetstabes.

Fig. 334.

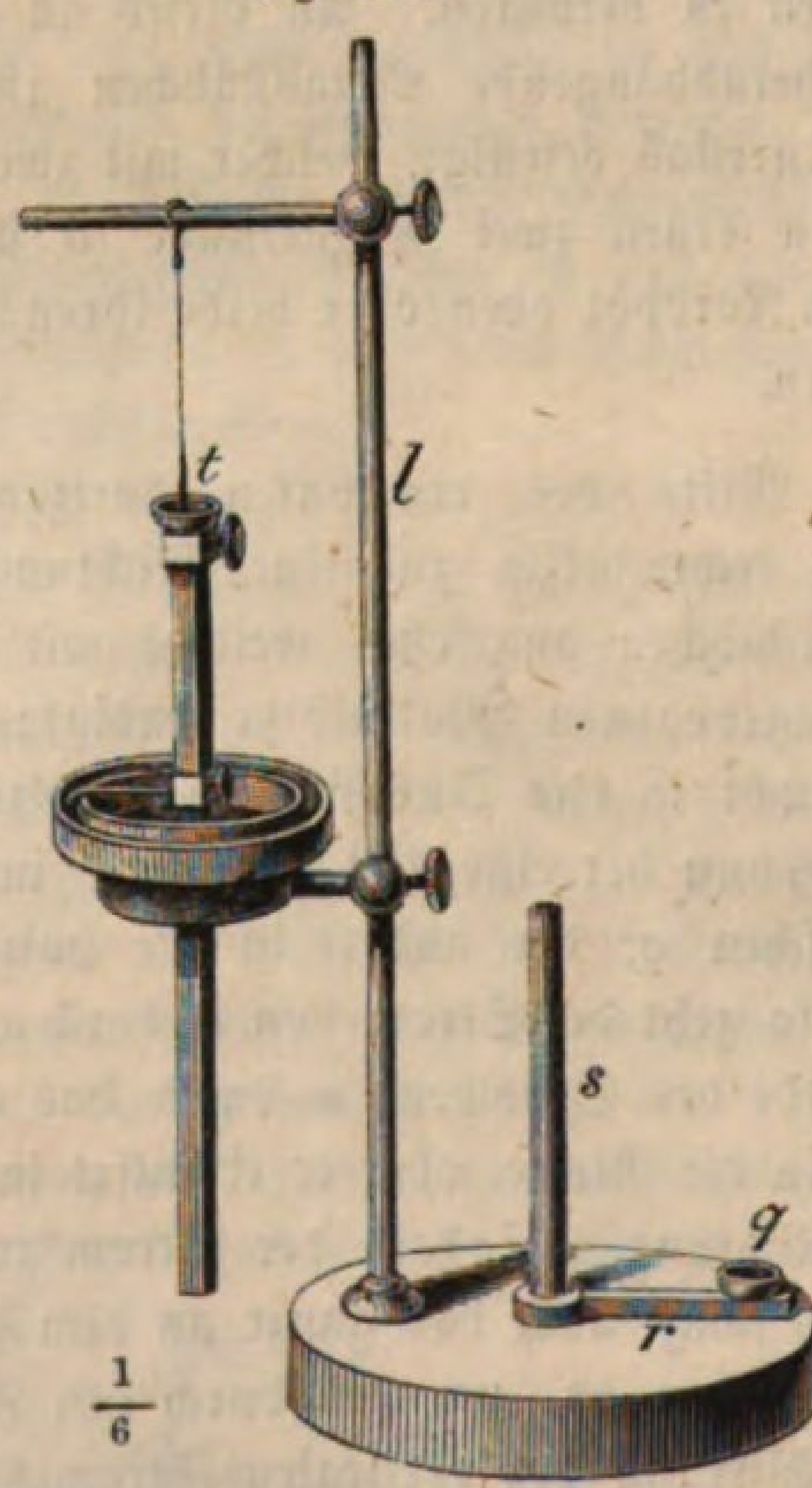


Fig. 335 stellt einen anderen zur Anstellung dieses Versuches sehr zweckmäßigen Apparat dar. In einer Vertiefung des Brettchens *MM* steht ein Glas, auf dessen Boden ein mit einer Stahlspitze versehenes Brettchen aufgekittet ist. Auf diese Spitze wird der eine Pol eines cylindrischen Magneten mit der kleinen Vertiefung gesetzt, die er noch vom Abdrehen her hat. Auf dem oberen

Fig. 335.

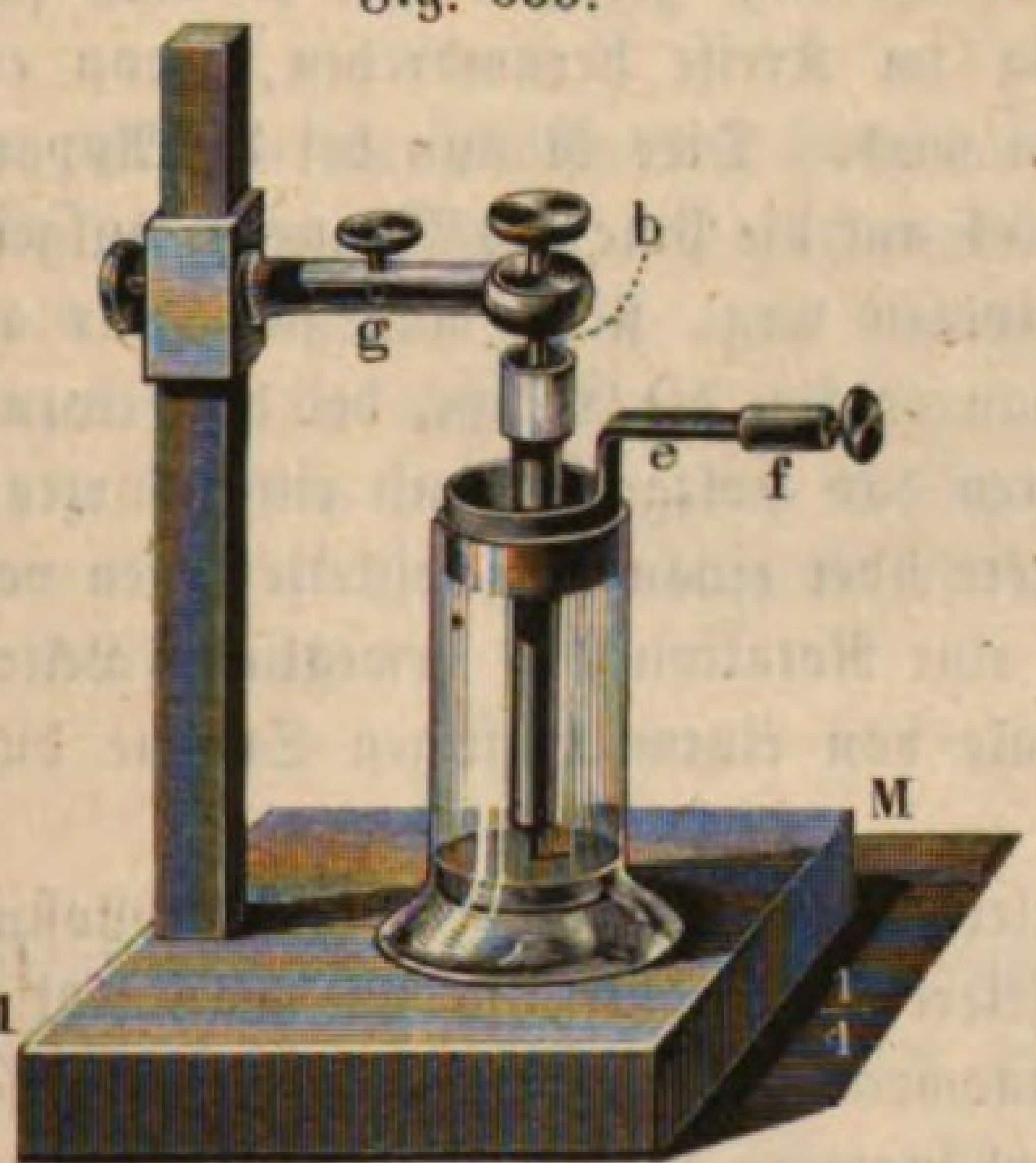


Fig. 336.

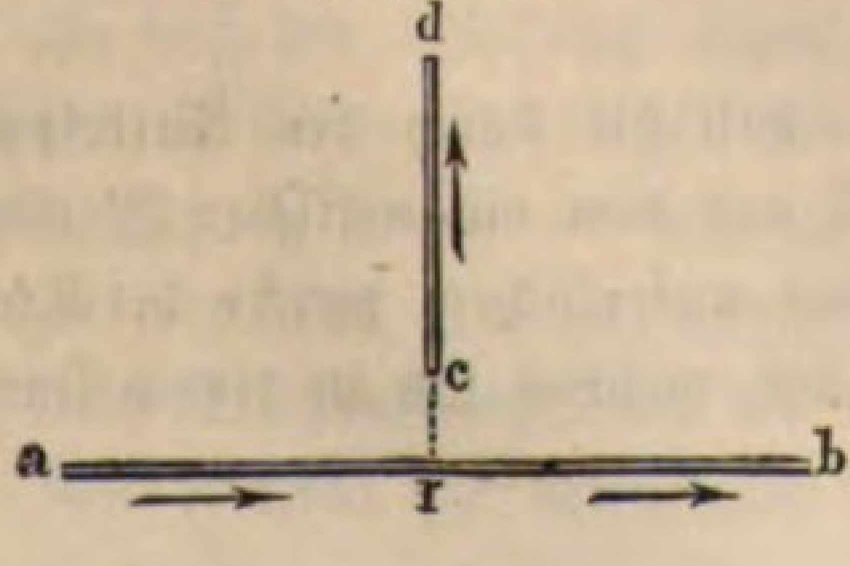


Pole ist, wie man Fig. 336 deutlich sieht, eine Hülse *aa* von Holz oder Elfenbein aufgeschoben, welche ein Quecksilbernäpfchen bildet. Eine stählerne Schraube *b*, deren reingeschliffene Spitze jener im Glase vertical gegenübersteht, wird nun soweit gegen das obere Kernloch des runden Magneten herunter geschraubt, daß derselbe zwischen beiden Spitzen noch etwas Spielraum hat, aber dieselben noch nicht verlassen kann. Ein Kupferstreifen *e* trägt einen nicht ganz geschlossenen, durch Federung gegen die Wände des Glases drückenden kupfernen Ring; er wird amalgamirt. In die Hülse *aa*, Fig. 336, gießt man nun etwas Quecksilber und in das Glas so viel, daß sein Auftrieb gerade den Magneten trägt und er also zwischen seinen beiden Spitzen eigentlich schwebt, folglich, da er im Quecksilber an derselben Stelle bleibt, sich ungemein leicht drehen kann.

Wird der eine Poldraht eines constanten Bechers bei *f*, der andere bei *g* eingeschraubt, so beginnt die Rotation nach den bekannten Gesetzen.

Rotation eines Stromes unter dem Einfluß eines anderen. 131
Denken wir uns einen festen unbegränzten Strom *ab* und einen Strom *cd*, Fig. 337, welcher gegen *ab* hin- oder von demselben wegströmt, und welcher parallel mit sich selbst verschiebbar ist, so wird, wenn der Kreuzungspunkt in *r* ist, zwischen den Theilen *cd* und *rb* Anziehung, zwischen *ar* und *cd* aber Abstoßung stattfinden. Jede dieser beiden

Fig. 337.



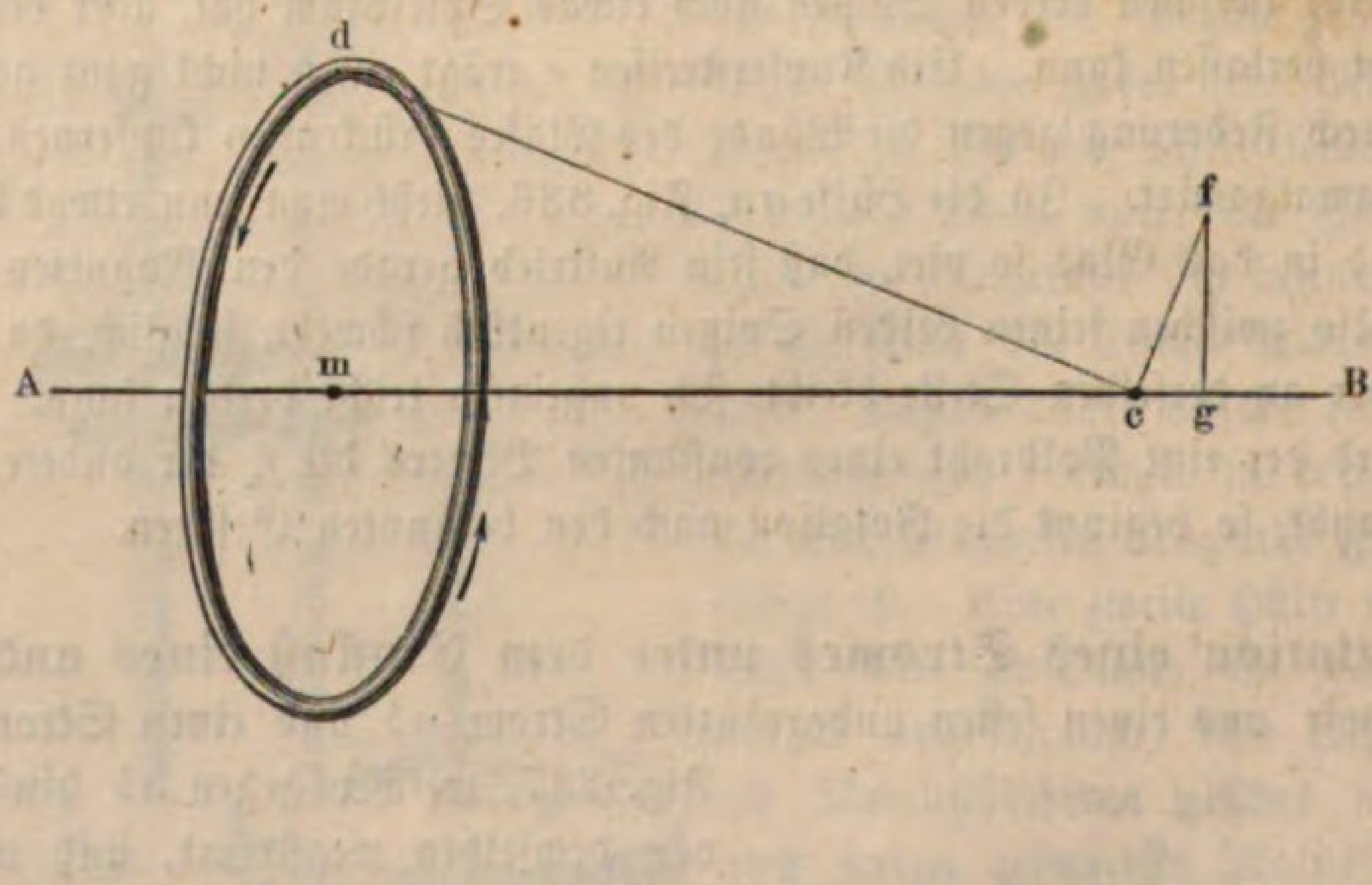
Kräfte läßt sich in zwei andere zerlegen, von denen eine parallel mit *ab* und eine rechtwinklig auf *ab* ist. Da *cd* nur parallel mit *ab* bewegt werden kann, so können die mit *cd* parallelen Composanten keine Wirkung hervorbringen; die mit *ab* parallelen aber vereinigen sich zu einer Resultirenden, welche den Strom *cd* in der Richtung von *a* nach *b* forttreibt.

Wenn der feste Strom *ab* kreisförmig gebogen ist, so muß sich *cd* in Folge derselben Wirkung beständig im Kreise herumdrehen, wenn er in der geeigneten Weise beweglich gemacht wird. Dies ist nun bei den Apparaten der Fall, welche in Fig. 331 Seite 354 auf die Pole des Magneten aufgesetzt sind. Nimmt man sie von den Magnetpolen weg, steckt man sie dafür auf gleich dicke Holzcylinder, und umgiebt man endlich die Gefäße, bei dem einen Apparat also das Zinkgefäß, bei dem anderen das Holzgefäß, mit einer kurzen Magnetisirungsspirale, welche durch mehrere über einander gewickelte Lagen von dickem Kupferdraht gebildet ist, so wird eine Rotation des beweglichen Leiters erfolgen, wenn die Magnetisirungsspirale von einem kräftigen Strome durchflossen wird.

So wie man früher die elektrischen Anziehungen und Abstoßungen zu einer Menge von elektrischen Spielereien benutzte, so hat man jetzt auch die elektro-magnetischen Rotationsphänomene auf die mannigfaltigste Weise variirt. Es mag hier genügen, die Grundphänomene in den einfachsten Formen kennen gelernt zu haben.

132 **Magnetisches Moment eines Kreisstromes.** Fig. 338 stelle die perspectivische Ansicht eines kreisförmigen Stromes dar, dessen Ebene mit dem

Fig. 338.



magnetischen Meridian zusammenfällt, so also, daß die durch den Mittelpunkt des Kreisstromes gelegte horizontale Linie *AB* auf dem magnetischen Meridian rechtwinklig steht. Wir wollen nun die Wirkung untersuchen, welche der Kreisstrom auf irgend ein magnetisches Element ausübt, welches sich in einem Punkte der Linie *AB*, etwa in *c* befindet.

Wenn der Kreisstrom in der durch die Pfeile bezeichneten Richtung circulirt, so hat ein elementares Theilchen des Stromes, etwa das Theilchen bei d, ein Bestreben, ein nordmagnetisches Element in c nach der Richtung cf zu bewegen; die Größe dieser bewegenden Kraft läßt sich durch

$$\frac{n s \gamma \varphi}{l^2}$$

darstellen, wenn s die Stärke des Kreisstromes nach chemischem Maaß, γ die Intensität des Magnetismus im magnetischen Theilchen c, φ die Länge des elementaren Bogenstücks bei d, l die Entfernung cd und n einen constanten Factor bezeichnet, der alsbald näher bestimmt werden soll.

Setzen wir den Halbmesser des Kreises gleich r, die Entfernung $mc = x$, so ist $l^2 = x^2 + r^2$ und der obige Werth für die in der Richtung cf auf c wirkende Kraft wird

$$\frac{n s \gamma \varphi}{x^2 + r^2}.$$

Zerlegt man die Kraft cf nach der Richtung der Ringaxe und rechtwinklig auf dieselbe, so ist es leicht, den Werth der Composante cg zu bestimmen, denn es verhält sich $cf : cg = cd : cm$, oder $cf : cg = l : r$, mithin ist

$$cg = \frac{cf . r}{l} = \frac{cf . r}{\sqrt{x^2 + r^2}}$$

oder endlich $cg = \dfrac{n s \gamma \varphi r}{(x^2 + r^2)^{3/2}}$.

Setzen wir nun in diesen Werth von cg für das Bogenelement φ den ganzen Umfang $2\pi r$ des Kreisstromes, so ergiebt sich als Resultante der Kräfte, mit welchen alle Elemente des Kreisstromes das Theilchen c in der Richtung der Axe zu bewegen suchen,

$$\frac{2\pi r^2 \gamma . s . n}{(x^2 + y^2)^{3/2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (a).$$

Die Kräfte senkrecht gegen die Richtung der Axe AB heben sich auf.

Aus dieser Formel sehen wir:

1) daß die magnetische Wirkung eines Kreisstromes dem Quadrate seines Halbmessers oder, was dasselbe ist, dem Flächeninhalt des umströmten Kreises proportional ist, und

2) daß die Wirkung eines Kreisstromes auf ein magnetisches Theilchen, welches auf seiner Axe liegt, sich umgekehrt verhält, wie die dritte Potenz der Entfernung $\sqrt{x^2 + r^2}$ des magnetischen Theilchens von der Peripherie des Kreisstromes, daß also die magnetische Wirkung eines Kreisstromes in die Ferne denselben Gesetzen folgt, wie die Totalwirkung eines Magneten.

Die Formel (a) kann auch die Kraft ausdrücken, mit welcher der Kreis-

strom eine in c befindliche kleine Magnetnadel in die Axe AB zu drehen strebt. Die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus auf die Nadel wirkt, um sie in den magnetischen Meridian zurück zu führen, ist $T\gamma$. Der Quotient dieser beiden Kräfte muß aber die Tangente des Ablenkungswinkels geben, es ist also

$$\frac{2\pi r^2 ns}{T(x^2 + r^2)^{3/2}} = tang.\ u.$$

Nun gilt aber diese Formel, in welchem Punkte der Axe AB sich auch die Nadel befinden mag, wenn ihre Länge nur klein genug ist gegen ihre Entfernung von der Peripherie des Kreisstromes. Für den Fall nun, daß die Nadel in dem Mittelpunkte des Kreisstromes liegt, ist $x = 0$ und man hat alsdann

$$\frac{2\pi r^2 ns}{Tr^3} = tang.\ u \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (b)$$

und daraus

$$n = \frac{Tr \,.\, tang.\ u.}{2\pi s}.$$

Bei einer in dem physikalischen Auditorium zu Freiburg angestellten Versuchsreihe ergab eine Tangentenbussole von 0,19ᵐ Radius für die Stromstärke 70 eine Ablenkung von 45° (Seite 193), also $tang.\ u = 1$. Für dieselbe Stelle ergab sich $T = 7{,}03$ (an dem Fenster, in dessen Nähe diese Versuche gemacht wurden, befand sich ziemlich viel Eisen. In einem eisenfreien Locale ergab sich $T = 6{,}19$), und demnach ist

$$n = 0{,}00304.$$

Dieser Werth von n ist jedoch nur als eine erste Annäherung zu betrachten. Aus Gleichung (b) ergiebt sich auch

$$\frac{2\pi ns}{Tr} = tang.\ u,$$

das heißt, die Tangente des Ablenkungswinkels, welche ein und derselbe Strom in Tangentenbussolen von verschiedenem Ringdurchmesser hervorbringt, ist unter übrigens gleichen Umständen dem Halbmesser des Ringes umgekehrt proportional, wobei jedoch immer vorausgesetzt ist, daß die Länge der Nadel sehr klein ist gegen den Durchmesser des Ringes.

So wie man aus der Ablenkung, welche ein Magnetstab an einer Bussole hervorbringt, das magnetische Moment des Stabes berechnen kann, so läßt sich auch mittelst der durch einen Kreisstrom hervorgebrachten Ablenkung das magnetische Moment desselben ermitteln.

Wenn man einen Magnetstab in eine solche Lage gegen eine Magnetnadel bringt, wie Fig. 55 auf Seite 55 zeigt, so ist das reducirte Drehungsmoment des Stabes (S. 57 und S. 61)

$$\frac{M}{T} = r^3\ tang.\ v,$$

woraus sich für das magnetische Moment des Stabes der Werth

$$M = Tr^3 \, tang. \, v$$

ergiebt. Bringt man aber denselben Magneten in die Fig. 54 dargestellte Lage gegen die Nadel, so erhält man eine solche Ablenkung u der Nadel, daß bei gleicher Entfernung die Tangente des Ablenkungswinkels u doppelt so groß ist, als die Tangente des in der ersten Lage beobachteten Ablenkungswinkels v. Hat man also bei der in Fig. 54 dargestellten Lage die Ablenkungsversuche gemacht, so ist

$$M = \frac{Tr^3 \, tang. \, u}{2}.$$

Die mit der Tangentenbussole gemachten Ablenkungsversuche entsprechen der Lage Fig. 54, man kann also auch das magnetische Moment G für einen solchen Strom auf dieselbe Weise bestimmen, wie den Werth von M für den Magnetstab; es ist nämlich

$$G = \frac{Tr^3 \, tang. \, u}{2}.$$

Nach Gleichung (b) ist aber

$$\frac{Tr^3 \, tang. \, u}{2} = \pi r^2 n s,$$

und wenn wir für den Factor n seinen obigen Zahlenwerth setzen, so erhalten wir für das magnetische Moment des Kreisstromes den Werth

$$G = \pi \, . \, r^2 s \, . \, 0{,}00304 = 0{,}00955 \; r^2 s.$$

Die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus den Kreisstrom zu drehen strebt, wenn seine Ebene mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt, ist demnach für Freiburg

$$D = G \, T = 0{,}00964 \, . \, 7{,}03 \, . \, r^2 s = 0{,}0671 \; r^2 s.$$

Setzt man für r den Halbmesser des Kreisstromes in Metern ausgedrückt, für s die Stromstärke nach chemischem Maaß, so stellt dieser Werth von D, in Grammen ausgedrückt, die an einem Hebelarm von 1 Centimeter angreifende Kraft dar, mit welcher der Erdmagnetismus den Kreisstrom zu drehen strebt.

Es habe z. B. eine Drahtrolle von der Form Fig. 323 200 Windungen, deren Radius im Mittel 0,1 Meter ist und in welcher ein Strom von der Stärke 10 kreist, so ist die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus auf jede einzelne Windung wirkt, 0,00671, und die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus die ganze Drahtrolle zu drehen strebt, wenn sie sich im magnetischen Meridian befindet, gleich dem an einem Hebelarm von 1 Centimeter angebrachten Druck von 1,342 Grammen.

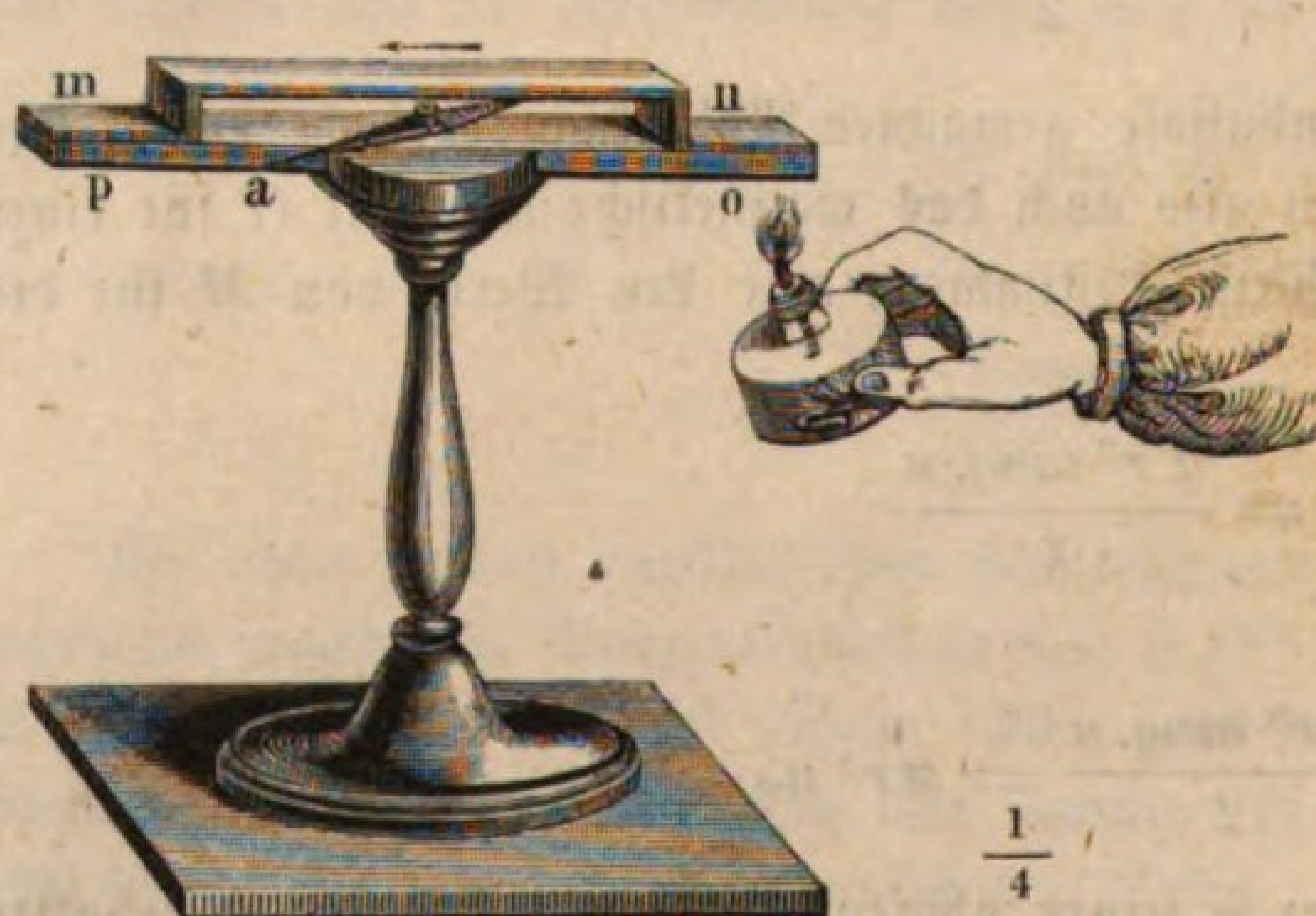
Man sieht daraus, wie gering die Kraft ist, mit welcher der Erdmagnetismus beweglich aufgehängte Kreisströme richtet.

133 **Thermo-elektrische Ströme.** Am Schluß des Capitels über die magnetischen Wirkungen des Stromes wollen wir nun noch die thermo-elektrischen Ströme betrachten, weil dieselben vorzugsweise durch ihre magnetischen Wirkungen nachgewiesen werden.

Wenn zwei Metallstäbe so zusammengelöthet sind, daß sie eine geschlossene Kette von beliebiger Form bilden, so entsteht ein mehr oder minder starker Strom, so oft die beiden Löthstellen verschiedene Temperatur haben, und der Strom dauert so lange fort, als der Temperaturunterschied unterhalten wird.

Es läßt sich dies für einen speciellen Fall mit dem Apparate Fig. 339 nachweisen.

Fig. 339.



po ist ein Stäbchen von Wismuth, *mn* ein Streifen von Kupfer, welcher mit seinen Enden auf das Wismuthstäbchen aufgelöthet ist; *ab* ist eine auf einer Spitze frei spielende Magnetnadel. Wenn die beiden Löthstellen noch die Temperatur der umgebenden Luft haben, wird der Apparat so gestellt, daß die Längsaxe von *po* in die Ebene des magnetischen Meridians fällt, daß also die Nadel mit der Axe und den Längenkanten des Wismuthstäbchens parallel steht; sobald nun eine der Löthstellen, etwa *o*, erwärmt wird, erleidet die Nadel eine mehr oder weniger bedeutende Ablenkung; erkaltet man aber dieselbe Löthstelle *o* unter die Temperatur der umgebenden Luft, so beobachtet man eine Ablenkung nach entgegengesetzter Richtung.

Diese Ablenkungen der Nadel bald nach der einen, bald nach der anderen Seite zeigen offenbar einen elektrischen Strom an, welcher den Apparat in einer bestimmten Richtung durchkreist, wenn die Löthstelle *o* wärmer ist als *p*; in der entgegengesetzten aber, wenn die Löthstelle *o* kälter ist als die Löthstelle *p*.

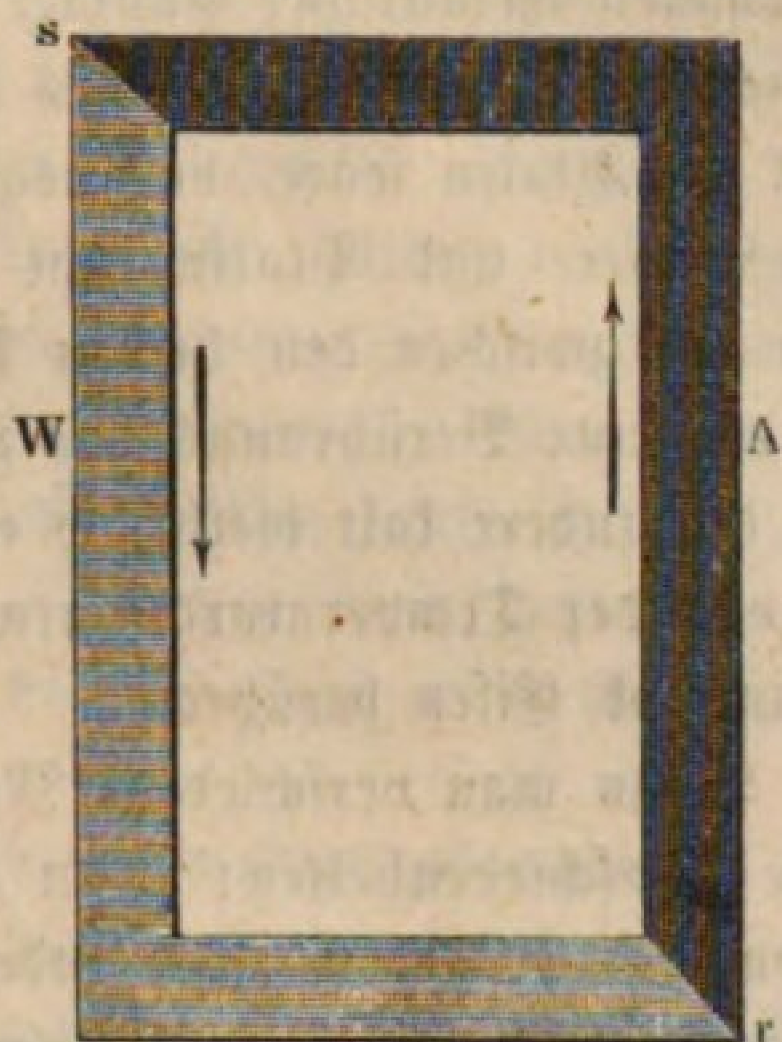
Es ist nicht gerade nöthig, daß man einen besonderen Apparat der Art hat, wie der Fig. 339 abgebildete; um den thermo-elektrischen Fundamentalversuch zu machen, kann man dazu jede leicht bewegliche Compaßnadel, etwa die Fig. 340 abgebildete, anwenden. Als thermo-elektrisches Element wendet man gewöhnlich ein längliches Rechteck, Fig. 341, an, welches aus Wismuth und Antimon zusammengesetzt ist; in der Figur bezeichnet die hellschattirte Hälfte Wismuth, die andere Antimon. Diese beiden Metalle sind bei *s* und *r* zusammengelöthet. Um den Versuch zu machen, erwärmt man vorsichtig die eine Löthstelle über einer kleinen Weingeistlampe und hält dann eine der längeren Seiten des Rechtecks gerade über die sich noch in ihrer Ruhelage befind-

liche Magnetnadel. Man muß das Rechteck aus Wismuth und Antimon doch so groß machen, daß jede der längeren Seiten wenigstens die Länge der Magnetnadel hat.

Fig. 340.



Fig. 341.



Häufig haben die einfachen thermo-elektrischen Ketten auch die Fig. 342 dargestellte Einrichtung. *ab* ist ein Stäbchen von Antimon oder Wismuth, an dessen beiden Enden ein Kupferdraht *aedb* angelöthet ist. Um den Versuch zu machen, wird die eine Löthstelle erwärmt und das Drahtstück *ed* über die Nadel gehalten.

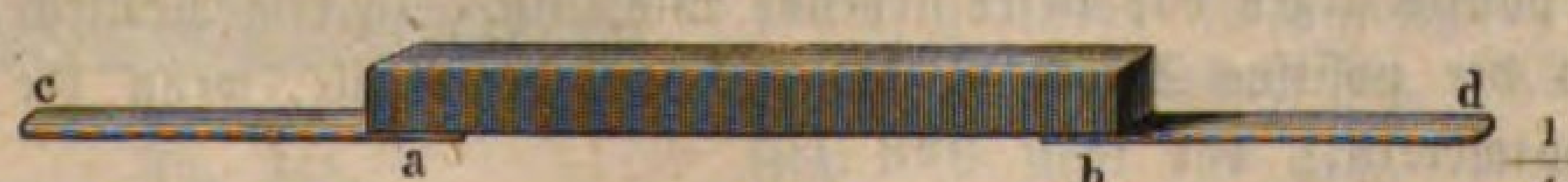
Fig. 342.



Seebeck ist der Entdecker dieser Ströme, die er thermo-elektrische Ströme nannte. Ein aus zwei Metallen, die an zwei Stellen zusammengelöthet oder auf andere Weise in metallische Berührung gebracht sind, gebildeter geschlossener Bogen wird ein thermo-elektrisches Element genannt.

Die bisher betrachteten thermo-elektrischen Elemente bilden an und für sich schon einen geschlossenen Leitungsbogen; man kann sie aber auch offen machen und die Schließung der Kette durch einen Multiplicator bewerkstelligen. Fig. 343 stellt ein offenes thermo-elektrisches Element dar. An die beiden Enden eines Wismuthstabes sind Streifen von Kupferblech angelöthet. Bringt man die Enden *c* und *d* mit den Drahtenden eines Multiplicators in leitende Verbindung, so wird die Nadel derselben abgelenkt, wenn eine der Löthstellen, *a* oder *b*, mehr erwärmt wird als die andere.

Fig. 343.



Um mit Hülfe eines Multiplicators die thermo-elektrischen Ströme zu untersuchen, welche irgend zwei Metalle mit einander geben, wie z. B. Eisen und Platin, reicht es hin, ein Stück Platindraht durchzuschneiden und jedes Stück an dem einen Ende des Multiplicatordrahtes zu befestigen, so daß ein vollkommen metallischer Contact zwischen Platin und Kupfer besteht. Ist diese Einrichtung getroffen, so ist es gerade so gut, als ob der ganze Multiplicatordraht von Platin wäre, vorausgesetzt, daß die beiden Berührungsstellen zwischen dem Kupfer- und Platindraht ganz gleiche Temperatur haben; man braucht dann nur zwischen den beiden Platinenden ein Stück Eisendraht anzubringen und die eine Berührungsstelle zwischen Platin und Eisen zu erwärmen, während die andere kalt bleibt, so erhält man den thermo-elektrischen Strom, welcher von der Temperaturdifferenz der beiden Stellen herrührt, in welchen sich Platin und Eisen berühren.

Wenn man verschiedene Metalle diesem Versuche unterwirft, so findet man große Verschiedenheiten; denn während irgend zwei Metalle einen kräftigen Strom geben, geben zwei andere unter ganz gleichen Verhältnissen nur einen außerordentlich schwachen Strom.

Die Untersuchungen, die man über das gegenseitige Verhalten verschiedener Metalle in Beziehung auf die Erregung thermo-elektrischer Ströme gemacht hat, haben gezeigt, daß sich die Metalle in eine Reihe zusammenstellen lassen, welche die Eigenschaft hat, daß, wenn man aus zwei Metallen dieser Reihe eine Kette bildet und an der einen Berührungsstelle erwärmt, an dieser erwärmten Löthstelle der positive Strom von dem in der Reihe tiefer stehenden Metall zu den höher stehenden übergeht.

Antimon	Zinn
Arsenik	Silber
Eisen	Kobalt
Zink	Palladium
Gold	Platin
Kupfer	Nickel
Messing	Quecksilber
Blei	Wismuth.

In dem Apparat Fig. 339 geht also, wenn die Löthstelle bei *o* erwärmt ist, der Strom in der Richtung von *o* über *n* nach *p* und dann nach *o* zurück; an der erwärmten Berührungsstelle *o* ist also das in der Reihe höher stehende Kupfer positiv gegen das tiefer stehende Wismuth. In dem Rechteck Fig. 341 circulirt der positive Strom in der Richtung der Pfeile, wenn die Löthstelle bei *r* wärmer ist.

Nach dem Gesetz der Spannungsreihe kann unter gewöhnlichen Umständen in einem aus zwei Metallen gebildeten Schließungsbogen, wie z. B. in Fig. 341, kein Strom entstehen, weil die elektromotorische Kraft an der einen Berührungsstelle der auf der anderen Seite wirkenden gleich und entgegengesetzt ist. Da wir nun bei Erwärmung der einen Berührungsstelle einen elektrischen

Strom entstehen sehen, so ist dies ein Beweis, daß die elektrische Differenz der Metalle nicht für alle Temperaturen dieselbe ist.

Die elektromotorische Kraft eines thermo-elektrischen Elementes ist sehr gering, es kann also überhaupt nur schwache Ströme liefern; da nun aber ferner der wesentliche Leitungswiderstand eines thermo-elektrischen Elementes gering ist, indem es nur aus Metallen besteht, so ist klar, daß man in den Schließungsbogen desselben keinen bedeutenden Widerstand einschalten darf, wenn der Strom nicht allzusehr geschwächt werden soll. Aus diesen Gründen wendet man für thermo-elektrische Ströme Multiplicatoren an, welche aus wenigen Windungen eines etwas dicken Drahtes gebildet sind (ungefähr 200 Windungen eines 1 Millimeter dicken Drahtes). Man unterscheidet solche Multiplicatoren gewöhnlich durch den Namen »Thermomultiplicatoren« von solchen, welche aus einer größeren Anzahl von Windungen eines dünneren Drahtes bestehen.

Verbindet man die Drahtenden eines Thermomultiplicators durch einen scheinbar ganz homogenen Metalldraht, so beobachtet man manchmal thermo-elektrische Ströme, wenn man diesen Verbindungsdraht an irgend einer Stelle erwärmt. Es ist dies offenbar die Folge von irgend einer Ungleichförmigkeit im Draht. Eine solche Ungleichförmigkeit wird z. B. schon dadurch hervorgebracht, daß man an irgend einer Stelle des Drahtes einen Knoten macht, wie Fig. 344 andeutet. Erwärmt man dann den Draht in der Nähe dieses Knotens, so entsteht alsbald ein Strom, welcher, nach Becquerel's Beobachtung, in einen Platindraht in der Richtung von der erwärmten Stelle zum Knoten geht, während Nobili mit leichter oxydirbaren Metallen, wie Zink und Eisen, Ströme in entgegengesetzter Richtung erhielt.

Fig. 344.

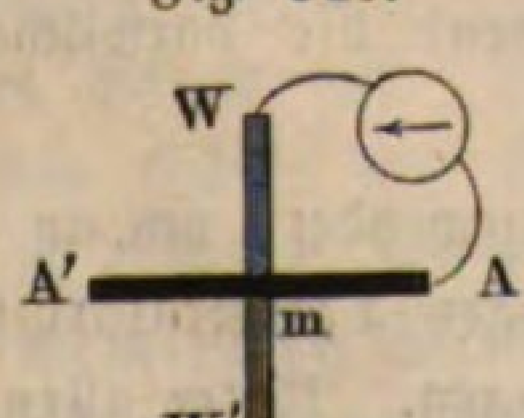


Kälteerzeugung durch den elektrischen Strom. Peltier löthete einen Stab von Wismuth und einen von Antimon, welche ungefähr $4^1/_2$ Zoll lang waren und einen quadratischen Querschnitt von 4 Linien hatten, so auf einander, daß sie ein Kreuz bildeten; an der Kreuzungsstelle waren sie in einander gelassen; jeder einzelne Stab hatte also die Gestalt Fig. 345. Die Fig. 346 stellt das ganze Kreuz, und zwar der schwarze Arm den Antimonstab, der helle Arm den Wismuthstab dar. Wird nun zwischen die Stabenden *W* und *A* ein Multiplicator eingeschaltet, wie dies in der Figur angedeutet 134

Fig. 345.



Fig. 346.

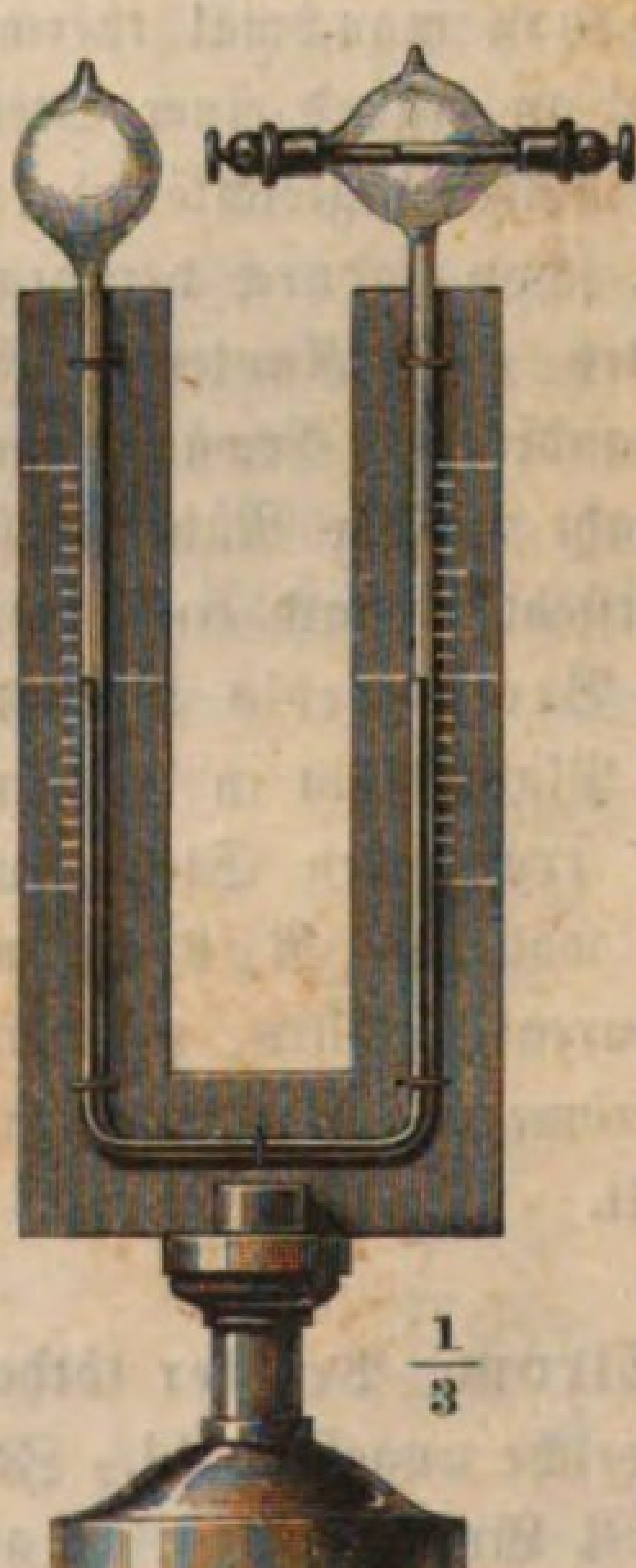


ist, so wird dieser Multiplicator nach der einen Seite ausschlagen, wenn man die Löthstelle erwärmt, nach der anderen, wenn man sie erkaltet.

Nun aber verband Peltier A' mit dem einen, W' mit dem anderen Pole eines Volta'schen Elements, so daß ein Strom die Arme $A'm$ und mW' durchlief. Auch nun wurde die Multiplicatornadel abgelenkt, und zwar zeigte die Ablenkung eine Erwärmung bei m an, wenn der positive Strom von A' über m nach W' ging, eine Erkaltung, wenn er in entgegengesetzter Richtung circulirte.

Diese Erkaltung durch den elektrischen Strom läßt sich auch mit Hülfe des Apparates Fig. 347 direct nachweisen. Durch die Differentialkugel eines Luftthermometers geht luftdicht ein Stäbchen hindurch, dessen eine Längshälfte Wismuth, dessen andere Antimon ist. Läßt man einen galvanischen Strom durch das Stäbchen hindurchgehen, so zeigt das Sinken der Flüssigkeit im Schenkel rechts eine Erwärmung der Löthstelle an, wenn der positive Strom vom Antimon zum Wismuth geht; läßt man aber den Strom in entgegengesetzter Richtung circuliren, so steigt die Flüssigkeit in der Röhre, deren Kugel das Metallstäbchen enthält, was eine Erkaltung der Löthstelle anzeigt.

Fig. 347.



$\frac{1}{3}$

Lenz machte an der Löthstelle eines Wismuth- und Antimonstabes ein Loch, füllte es mit Wasser und legte den Stab auf schmelzenden Schnee, mit welchem er auch die übrigen Theile desselben mit Ausnahme der Löthstelle bedeckte. Die Stange erhielt dadurch natürlich eine Temperatur von 0°, welche auch ein in das Wasser der Löthstelle eingetauchtes Thermometer angab. Als aber der Stab so zwischen die Pole eines Volta'schen Elementes eingeschaltet wurde, daß der positive Strom vom Wismuth zum Antimon ging, war das Wasser im Loche der Löthstelle nach 5 Minuten vollständig gefroren, und das Thermoter sank auf — 3,5°.

135 **Thermo-elektrische Säulen.** Nach dem Systeme der Volta'schen Säule kann man auch mehrere thermo-elektrische Elemente zu einer thermo-elektrischen Säule vereinigen, welche einen Strom geben, wenn man die Löthungsstelle 1, 3, 5 u. s. w. erwärmt, während die dazwischenliegenden kalt bleiben.

Solche thermo-elektrische Säulen werden angewendet, um an einem eingeschalteten Multiplicator schon bei ganz geringer Temperaturdifferenz der Löthstellen eine Ablenkung der Nadel hervorzubringen. Unter allen zu diesem

Zwecke construirten Säulen ist unstreitig die von Nobili angegebene die sinnreichste und empfindlichste; sie ist Fig. 348 dargestellt. Sie ist aus 25 bis 30 feinen Stäbchen von Wismuth und Antimon zusammengesetzt, welche ungefähr 4 bis 5 Centimeter lang sind. Sie sind zusammengelöthet, wie man Fig. 349 sieht, nämlich so, daß alle paarigen Löthstellen auf der einen, alle unpaarigen auf der anderen Seite sich befinden. Das Ganze bildet einen kleinen compacten und festen Bündel, weil die Zwischenräume zwischen den einzelnen Stäbchen mit einer isolirenden Substanz, etwa mit Gyps, ausgefüllt sind, denn sie dürfen sich natürlich nur an den Löthstellen berühren. Das eine der beiden Halbelemente endlich, mit denen die Kette endigt, ist mit dem Stifte x, das andere mit dem Stifte y in Verbindung, und diese Stifte bilden die beiden Pole der Säule; mit ihnen werden die Enden des Multiplicatordrahtes in Verbindung gebracht.

Fig. 348.

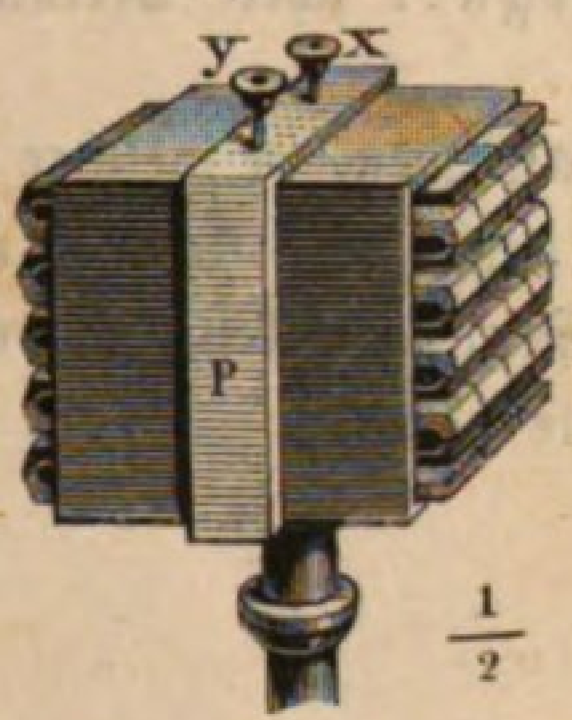
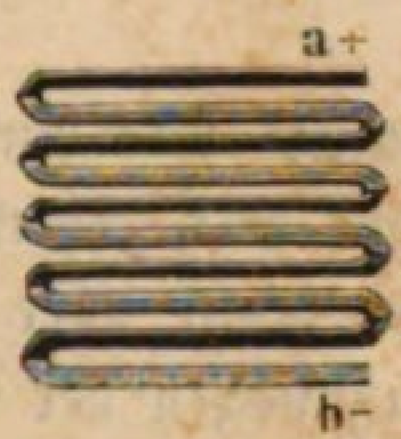


Fig. 349.



Man hat der thermo-elektrischen Säule für specielle Untersuchungen besondere Formen gegeben, die wir jedoch hier nicht näher betrachten können.

Mit einer thermo-elektrischen Säule, welche nach demselben Princip construirt ist, wie die Fig. 348, deren Elemente aber größer sind, kann man sehr kräftige thermo-elektrische Ströme hervorbringen, wenn die beiden Enden sehr ungleichen Temperaturen ausgesetzt werden. Zu diesem Zwecke wird die Säule vertical gestellt, die untere Fläche in Schnee oder in eine Kältemischung getaucht, während die obere Fläche der Strahlung einer glühenden Eisenplatte ausgesetzt ist.

Thermo-elektrische Säulen zur Erzeugung starker Ströme durch bedeutende Temperaturdifferenzen werden aus Eisen und Platin, oder, nach Poggendorff's Angaben, aus Eisen und Neusilber construirt.

Wirkungen des thermo-elektrischen Stromes. Der thermo-elektrische Strom bringt alle Wirkungen eines hydro-elektrischen Stromes hervor, nur sind die Effecte sehr schwach, wenn ein einigermaßen bedeutender Leitungswiderstand zu überwinden ist. 136

Daß der thermo-elektrische Strom magnetische Wirkungen hervorbringt, geht schon aus der Ablenkung der Multiplicatornadel hervor; es ließ sich also von vornherein erwarten, daß der Thermostrom auch Elektromagnete hervorzubringen im Stande sei. In der That brachte Watkins durch den Strom einer großen Säule von 30 Wismuth- und Antimonpaaren einen Elektromagneten zu Stande, der 90 Pfund trug.

Die chemischen Wirkungen des thermo-elektrischen Stromes sind wegen des großen Leitungswiderstandes der Flüssigkeiten sehr unbedeutend, doch

haben Botte in Turin und Alexander Wasserzersetzung auf diesem Wege zu Stande gebracht.

Wärmeentwickelung erhielt Watkins durch den Thermostrom in einem elektrischen Luftthermometer und in einem Breguet'schen Metallthermometer.

Mit einer Säule von 81 Wismuth- und Antimonpaaren, in welcher jeder Stab 27''' lang, 5''' breit und 4''' dick war, erhielt Munke noch keine directen Oeffnungs- oder Schließungsfunken, wohl aber Oeffnungsfunken, wenn sich eine Inductionsspirale im Schließungsbogen der Säule befand.

Fünftes Capitel.

Inductionserscheinungen.

Wirkung eines elektrischen Stromes auf einen in sich geschlossenen leitenden Kreis. Auf eine Spule von Holz seien zwei mit Seide (der eine etwa mit rother, der andere mit grüner) überzogene Kupferdrähte so aufgewickelt, wie man Fig. 350 sieht; der eine Draht läuft neben 137

Fig. 350.



dem anderen her, ohne daß eine leitende Verbindung zwischen ihnen stattfindet; wenn man nun mit dem einen Draht (etwa dem roth übersponnenen) eine galvanische Kette schließt, indem man seine beiden Enden R und r mit den Polen derselben in Verbindung setzt, so circulirt in diesem Drahte der Strom, ohne daß er jedoch auf den anderen Draht übergehen könnte. Wir wollen den Draht Rr, welcher den Schließungsbogen des Rheomotors bildet, den Hauptdraht, den anderen den Nebendraht nennen. — Verbindet man die Enden G und g des Nebendrahtes mit den Drahtenden eines Multiplicators, so beobachtet man eine Ablenkung der Nadel sobald man die Kette mit dem Hauptdraht schließt, und zwar ergiebt sich aus der Seite, nach welcher diese Ablenkung erfolgt, daß der Strom im Nebendraht die entgegengesetzte Richtung von dem im Hauptdraht beginnenden hat.

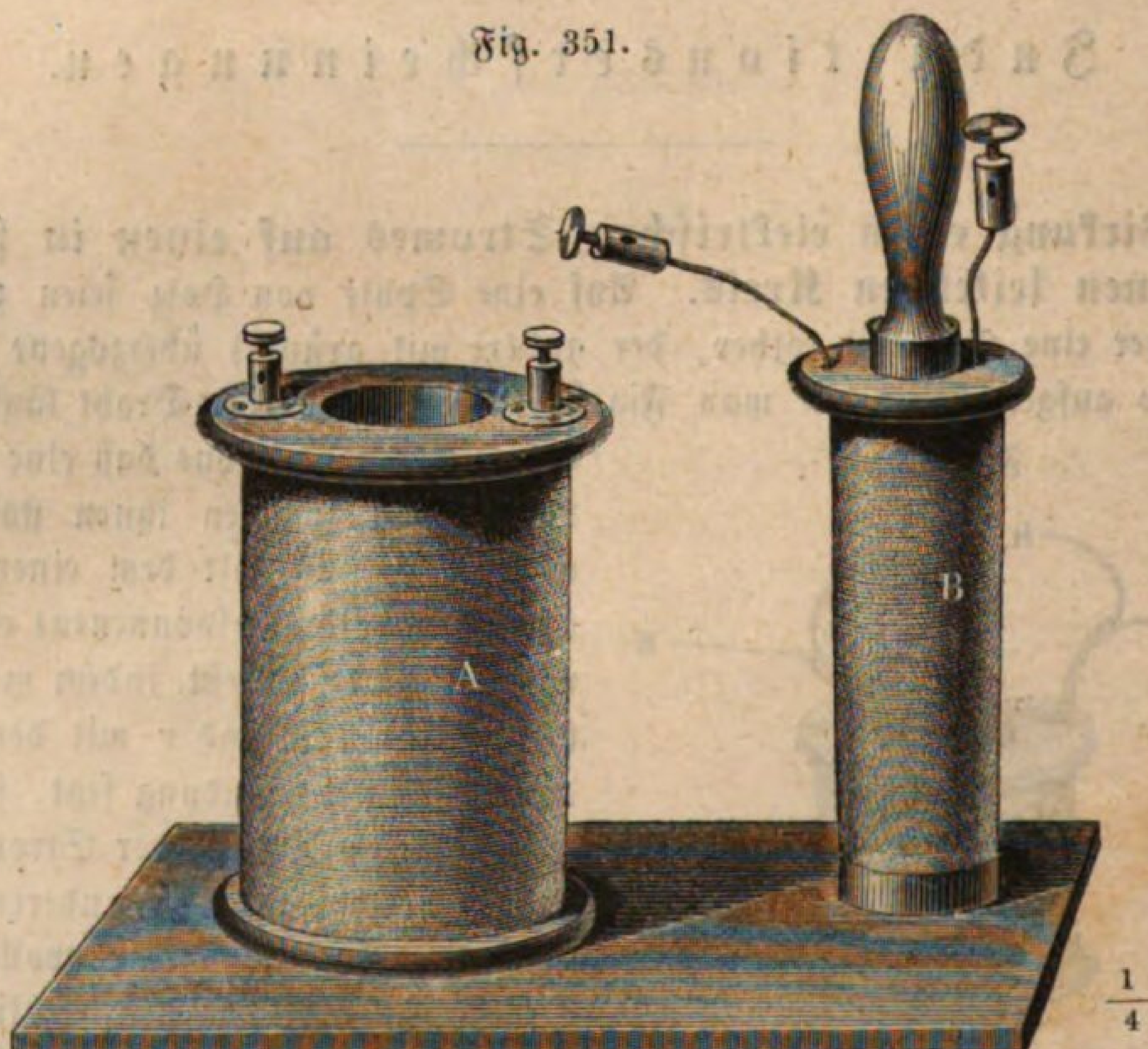
Dieser Strom im Nebendraht ist jedoch nicht andauernd, denn die Multiplicatornadel kehrt nach einigen Schwingungen wieder zum Nullpunkte der Theilung zurück und bleibt ruhig auf demselben stehen, so lange der primäre Strom in gleichmäßiger Stärke den Hauptdraht durchläuft; sobald aber der Hauptstrom unterbrochen wird, schlägt die Galvanometernadel nach der entgegengesetzten Richtung aus, sie zeigt also nun einen Strom, der den Neben-

draht in derselben Richtung durchläuft, in welcher der eben unterbrochene Hauptstrom sich bewegt hatte.

Diese Strombildung in einem geschlossenen Leiter durch die Einwirkung eines benachbarten Stromes wird mit dem Namen der Induction oder auch der Volta-Induction bezeichnet. Ein galvanischer Strom inducirt also in einem benachbarten geschlossenen Leiter einen Strom von entgegengesetzter Richtung im Moment seines Entstehens, einen gleich gerichteten im Moment seines Aufhörens.

Es ist keineswegs nöthig, daß die beiden Drähte in der angegebenen Weise auf derselben Spule aufgewunden sind, sie können auch auf verschiedenen Spulen von ungleichem Durchmesser aufgewunden sein, so daß sich die eine Drahtspule in die andere hineinschieben läßt.

Fig. 351.



In dieser Weise stellt Fig. 351 zwei zum Inductionsversuch dienende Drahtrollen dar. Die Spirale des Hauptdrahts *B* kann in die Spirale des Nebendrahts *A* eingeschoben werden. In der Regel ist die Spirale des Hauptdrahts aus einem kürzeren aber dickeren, die Spirale des Nebendrahts aus einem längeren und dünneren Draht gemacht.

Der Inductionsstrom im Nebendraht *A* kann also dadurch erzeugt werden, daß man, während die Spirale *B* in *A* steckt, den primären Strom, welcher *B* durchläuft, abwechselnd unterbricht und wieder herstellt. Denselben Effect, nämlich die Induction eines Stromes in *A*, kann man aber auch bei ununterbrochenem Hauptstrom hervorbringen, wenn man *B* abwechselnd in die Höhlung von *A* hineinschiebt und wieder herauszieht. Beim Hineinschieben von *B*

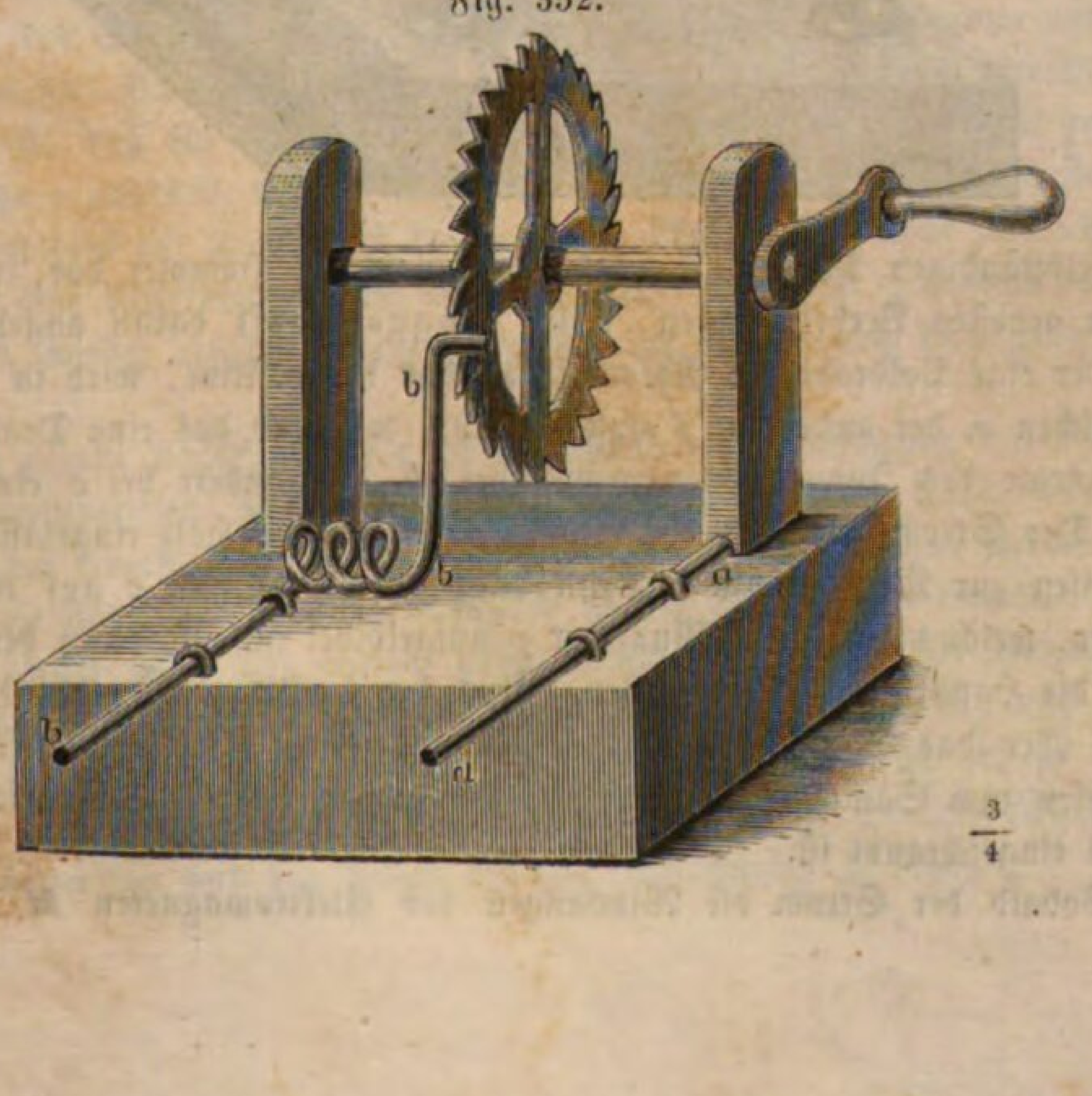
wird in den Drahtwindungen von A (vorausgesetzt, daß die Enden derselben leitend verbunden sind) ein Strom inducirt, welcher der Richtung nach dem Hauptstrom in B entgegengesetzt ist, während beim Herausziehen von B ein dem Hauptstrom gleichgerichteter im Nebendraht inducirt wird.

Die Existenz der Inductionsströme und ihre Richtung läßt sich, wie bemerkt wurde, dadurch nachweisen, daß man ein Galvanometer zur Schließung der Nebenspirale anwendet; diese Inductionsströme bringen aber auch alle anderen Erscheinungen galvanischer Ströme, vor allen Dingen aber sehr kräftige physiologische Wirkungen hervor. Um die Schläge der Inductionsströme durch den Körper gehen zu lassen, braucht man blos die Drahtenden der Nebenspirale mit metallenen Griffen zu versehen und diese in die etwas befeuchteten Hände zu nehmen. So oft nun der Hauptstrom geöffnet oder geschlossen wird, erhält man einen Schlag.

Unterbrechungs-Vorrichtungen. Um die physiologische Wirkung recht fühlbar zu machen, muß man eine Reihe von Oeffnungs- und Schließungsschlägen in rascher Aufeinanderfolge durch den Körper senden. Man hat zu diesem Zweck verschiedene Vorrichtungen, welche man Rheotome nennen kann und von denen wir die zweckmäßigsten näher betrachten wollen. 138

Das einfachste Rheotom ist wohl das Unterbrechungsrad, Fig. 352. Auf einem Holzklotz stehen zwei Messingpfeiler, welche die metallene Axe eines messingenen Zahnrades tragen, dessen Zähne am besten so geschnitten sind, wie die Zähne des Steigrades einer gewöhnlichen Pendeluhr. An dem einen Messingpfeiler ist der Kupferdraht a befestigt, während ein zweiter Kupferdraht b federnd gegen das Rad drückt. Um das Unterbrechungsrad sammt der Hauptspirale in den Schließungsbogen des elektromotorischen Bechers einzuschalten

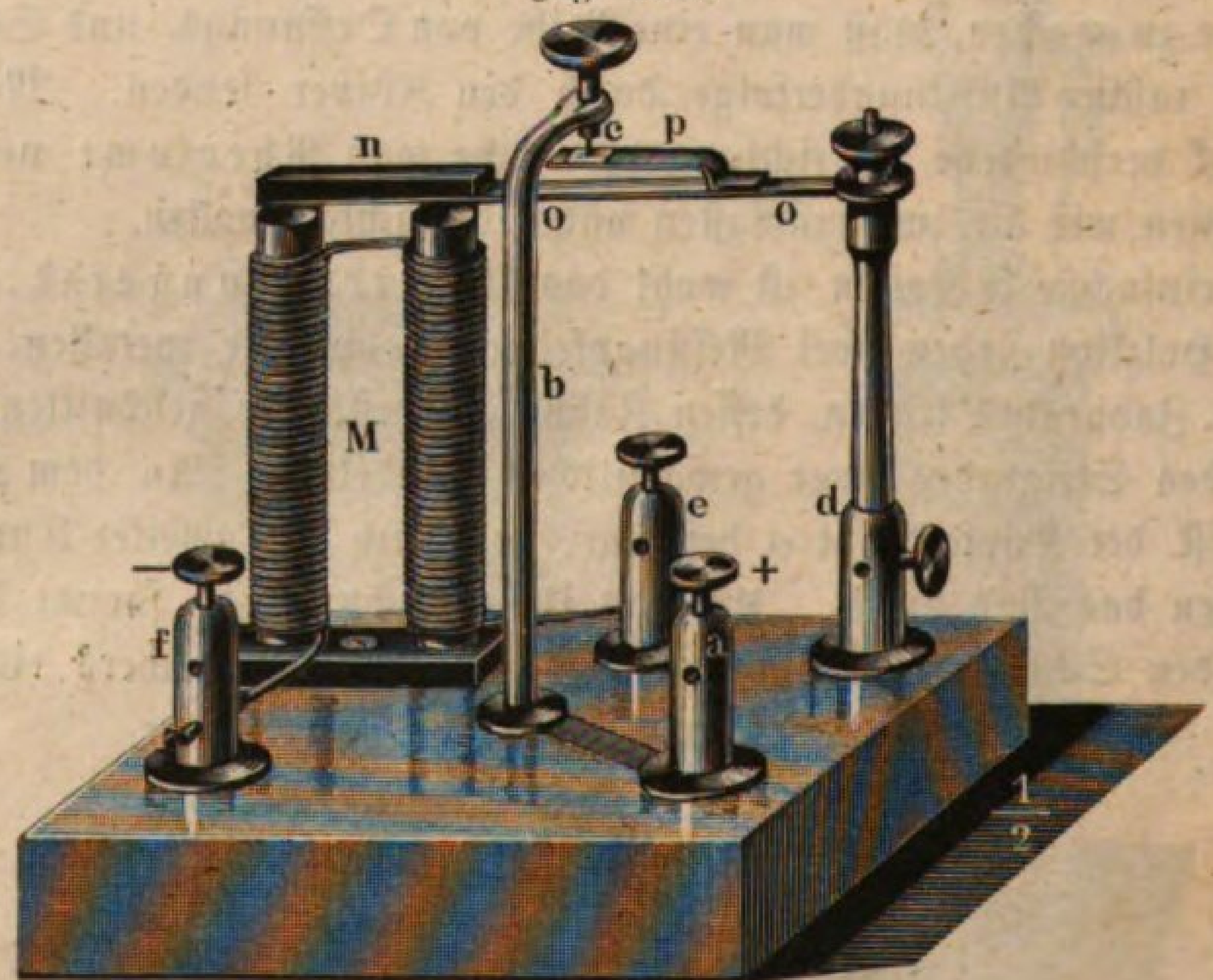
Fig. 352.



braucht man nur das eine Ende derselben mit dem positiven Pole, das andere mit dem Drahte *a*, Fig. 352, zu verbinden und dann von *b* einen Draht zum negativen Pole des Elektromotors zu führen. So oft nun bei Umdrehung des Rades der federnde Draht *b* von einem Zahne des Rades zum anderen überspringt, erfolgt ein Oeffnen und ein alsbaldiges Wiederschließen der Kette.

Eine zweite Hauptform des Rheotoms ist der von **Wagner** erfundene **magnetische Hammer**, bei welchem die Unterbrechung mittelst eines Elektromagneten durch den Hauptstrom selbst bewirkt wird. Ursprünglich war der magnetische Hammer mit dem Inductionsapparate zu einem untrennbaren Ganzen vereinigt worden, wie wir dies bei einem später zu beschreibenden Apparate sehen werden; der magnetische Hammer kann aber auch als eine ganz selbständige Unterbrechungsvorrichtung construirt werden, so daß man ihn von dem einen Apparate wegnehmen und mit einem anderen verbinden kann, wie dies auch mit dem Unterbrechungsrade der Fall ist. Fig. 353 stellt einen solchen,

Fig. 353.



einen selbständigen Apparat bildenden magnetischen Hammer dar, und zwar mit den neuesten Verbesserungen, welche **Poggendorff** daran angebracht hat.

Der eine Poldraht des Rheomotors, etwa der positive, wird in das Messingsäulchen *a*, der andere in *f* eingeschraubt, während das eine Drahtende der Hauptspirale des Inductionsapparates bei *d*, das andere bei *e* eingeschraubt wird. Der Strom geht nun von *a* durch einen in das Holz eingelassenen Messingstreifen zur Messingsäule *b*, dann durch die Platinspitze *c* auf ein Platinplättchen, welches auf die Messingfeder *p* aufgelöthet ist, und dann herab bis *d*, um in die Hauptspirale überzugehen. Aus der Hauptspirale gelangt dann der Strom über das Säulchen *e* in die Windungen des Elektromagneten *M* und aus diesen zum Säulchen *f*, in welches der andere Pol des elektromagnetischen Bechers eingeschraubt ist.

Sobald der Strom die Windungen des Elektromagneten *M* durchläuft,

wird dessen Eisenkern magnetisch, so daß er den eisernen Anker *n* anzieht, welcher auf dem einen Ende der messingenen Feder *o* befestigt ist; durch das Niederziehen des Ankers *n* wird auch *p* mit seinem Platinplättchen etwas niedergezogen und dadurch die Berührung zwischen diesem Platinplättchen und der Platinspitze *c* aufgehoben, was dann auch eine Unterbrechung des Stroms in der Hauptspirale und in den Windungen des Elektromagneten *M* zur Folge hat. Mit der Unterbrechung des Stromes verliert auch der Elektromagnet *M* seinen Magnetismus und die Kraft der Feder *o* zieht dann sogleich den Anker *n* wieder in die Höhe, wodurch denn zugleich auch die metallische Berührung bei *c* wieder hergestellt wird und das eben beschriebene Spiel sogleich von neuem beginnt.

Die Unterbrechungen des Stromes folgen sich hier mit solcher Schnelligkeit, daß man die einzelnen Vibrationen der Feder nicht wahrnehmen kann, daß man dagegen ein continuirliches Summen hört, während man an der Spitze bei *c* jene Lichterscheinung beobachtet, welche bereits oben auf Seite 246 besprochen wurde.

Die Platinspitze *c* ist am unteren Ende einer Schraube angebracht, durch deren Drehung man den Abstand des Ankers *n* von den Polen des Elektromagneten reguliren kann, wodurch man es denn auch in der Gewalt hat, das Spiel der Unterbrechungen nach Belieben schneller oder langsamer zu machen.

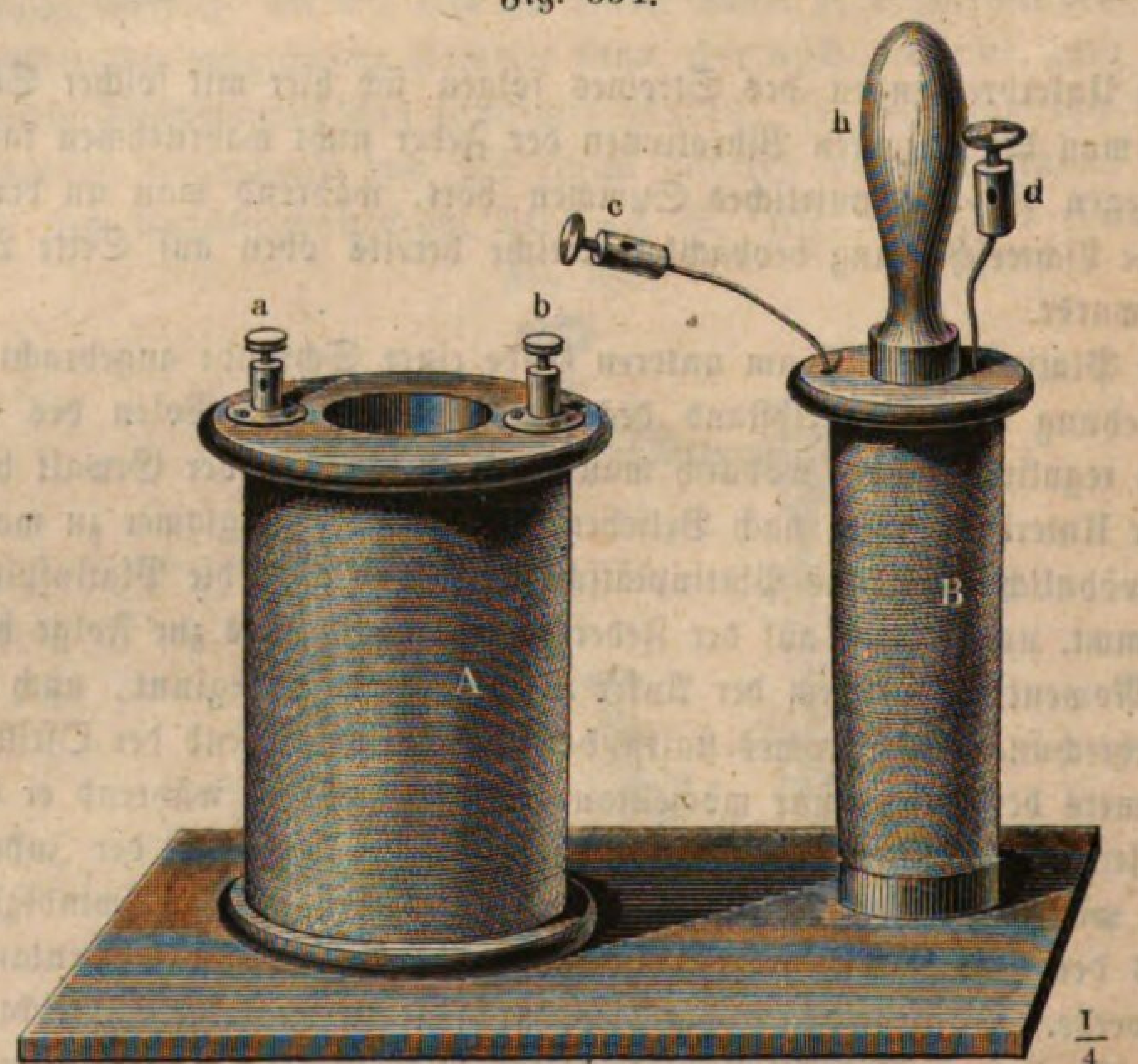
Gewöhnlich wird das Platinplättchen, auf welches die Platinspitze *c* zu stehen kommt, unmittelbar auf der Feder *o* angebracht, was zur Folge hat, daß in dem Moment, in welchem der Anker *n* niederzugehen beginnt, auch sogleich die Unterbrechung des Stromes stattfindet, daß also während der Oscillationen des Hammers der Strom nur momentan geschlossen bleibt, während er dagegen längere Zeit unterbrochen ist. — Nun aber ist es für den Effect der Inductionsapparate weit vortheilhafter, daß bei gleicher Oscillationsgeschwindigkeit des Hammers der Strom längere Zeit geschlossen bleibe und nur momentan unterbrochen werde. Poggendorff hat dies durch die zweite Feder *p* erreicht, welche so justirt ist, daß sie die Platinplatte noch mit einiger Federkraft gegen die Platinspitze *c* andrückt, wenn die Feder *o* in ihrer Gleichgewichtslage sich befindet; es hat dies zur Folge, daß der Anker *n* schon eine Strecke abwärts gehen kann, ehe eine Unterbrechung bei *c* erfolgt, und daß das Schließen des Stromes schon wieder erfolgt, wenn *n* kaum seine aufgehende Bewegung begonnen hat.

Der eiserne Anker *n* darf nicht in unmittelbare Berührung mit den Polen des Elektromagneten *M* kommen, weil sonst selbst nach Unterbrechung des Stromes der remanente Magnetismus in den Eisenkernen zu stark werden würde, als daß die Feder *o* den Anker *n* wieder in die Höhe ziehen könnte. Bei unserem Apparate wird dies einfach dadurch verhindert, daß die Messingfeder *o* noch so weit reicht, daß sie die Pole des Elektromagneten bedeckt, und daß der Anker *n* auf das freie Ende dieses Messingstreifens aufgesetzt ist, so daß sich selbst bei dem tiefsten Stande des Ankers *n* noch ein Streifen Messingblech zwischen demselben und den Polen des Elektromagneten *M* befindet.

139 **Inductionsapparate für physiologische Zwecke.** Es ist bereits bemerkt worden, daß sich die Inductionsströme durch kräftige physiologische Wirkungen auszeichnen, weshalb denn auch die Inductionsapparate für physiologische Untersuchungen sowohl, als auch für medizinische Zwecke eine große Bedeutung erlangt haben. Man hat deshalb auch Inductionsapparate in verschiedenen Formen construirt, von denen wir nur die einfachsten und zweckmäßigsten betrachten wollen.

Um die physiologischen Wirkungen der Inductionsströme in Vorlesungen zu zeigen, kann man sich der schon beschriebenen Drahtspiralen Fig. 354 bedie-

Fig. 354.

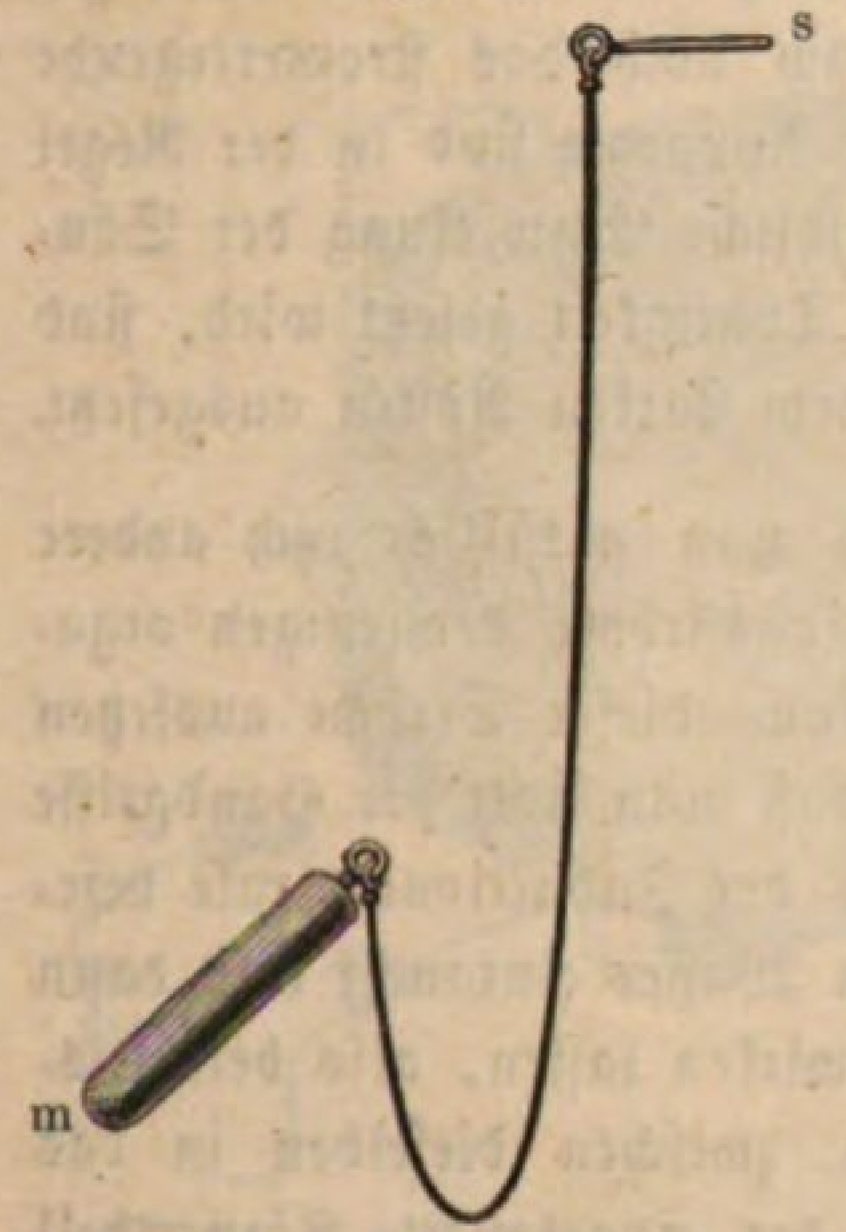


nen. Die Hauptspirale *B* wird in die Höhlung der Nebenspirale *A* eingeschoben; der Handgriff *h*, welcher nur mit einiger Reibung in der Höhlung der Hauptspirale steckt, wird entfernt und statt dessen diese Höhlung mit einem Bündel von eisernen Stäbchen gefüllt, die ungefähr so dick sind, wie ein dünner Strickstock. (Von der Wirkung dieser Eisenstäbchen wird alsbald weiter die Rede sein.) In *c* wird der eine, in *d* wird der andere Poldraht des stromerregenden Bechers eingeschraubt, nachdem man an einer passenden Stelle zwischen dem Rheomotor und der Spirale ein Rheotom, sei es nun ein Unterbrechungsrad oder ein magnetischer Hammer, eingeschaltet hat.

Nachdem auf diese Weise der Hauptdraht sammt dem Rheotom in den Schließungsbogen des Stromerregers eingeschaltet ist, wird in jede der Schraubklemmen *a* und *b* der Nebenspirale ein Handgriff von der Fig. 355 abgebildeten Einrichtung eingeschraubt. Von dem Metallstifte *s*, welcher in die ent-

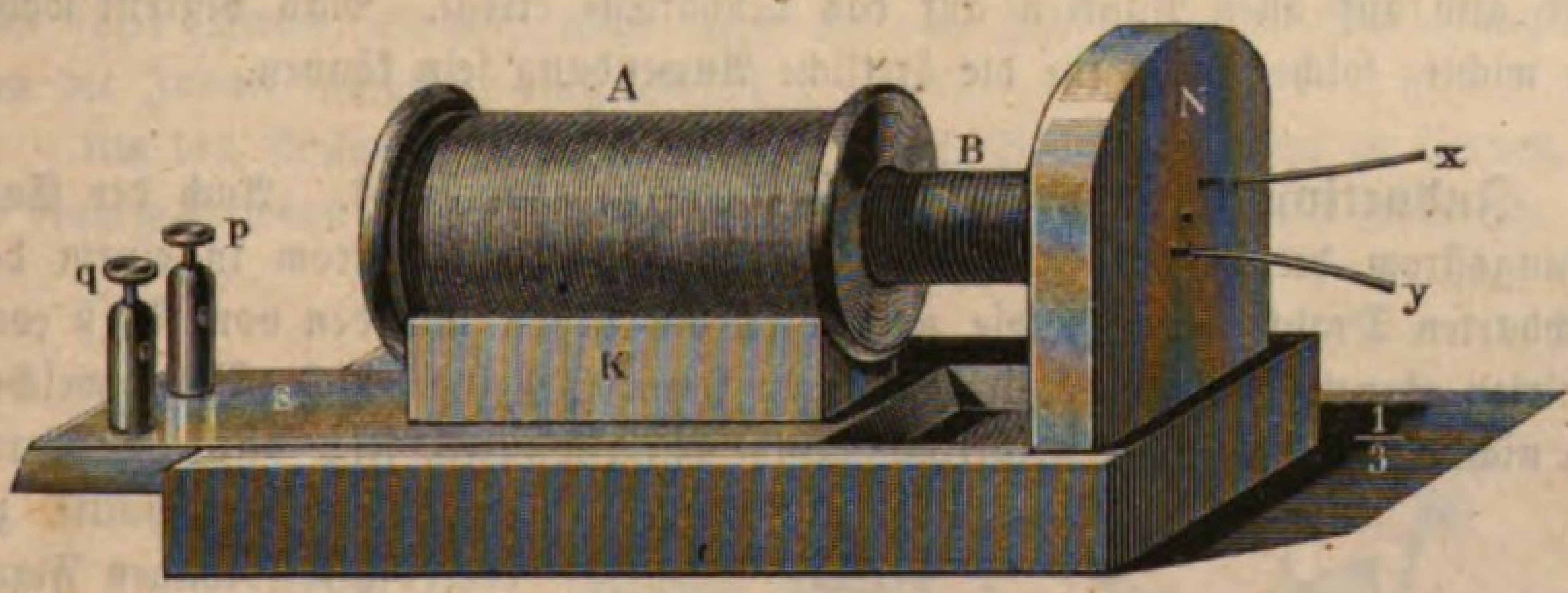
sprechende Schraubklemme eingesteckt wird, führt ein Bündel Metallfäden, welches mit Seide oder Wolle übersponnen ist, zu dem hohlen Metallcylinder *m*. Derjenige, welcher die Inductionsströme durch seinen Körper will gehen lassen, faßt mit einer Hand den Handgriff, welcher in *a* eingeschraubt ist, mit der anderen den in *b* eingeschraubten, und erhält dann die elektrischen Schläge, sobald der Stromunterbrecher in Gang gesetzt wird.

Fig. 355.



Für praktische Zwecke ist es wünschenswerth, daß Haupt- und Nebenspirale auf geeignete Weise ein für allemal mit einander verbunden sind. Eine besonders zweckmäßige Vorrichtung der Art ist der Schlittenapparat von Du Bois-Reymond, welche Fig. 356 dargestellt ist. Die Hauptspirale *B* ist an einem verticalstehenden Brett *N* so befestigt, daß ihre Axe horizontal steht; die gleichfalls horizontale Nebenspirale *A* ist mittelst des Holzklotzes *K* auf einem Brett *S* befestigt, welches nach Belieben vor- und rückwärts geschoben werden

Fig. 356.



kann. Wenn das Brett *S* ganz eingeschoben ist, so ist die Hauptspirale ihrer ganzen Länge nach von der Nebenspirale umgeben, der Strom in der Hauptspirale kann also seine volle Wirkung auf die Nebenspirale ausüben; wenn aber das Brett *S* mehr und mehr ausgezogen wird, so daß ein Theil der Hauptspirale frei ist, wie die Figur zeigt, so kann nur noch ein Theil des Stromes in der Hauptspirale inducirend auf die Nebenspirale wirken. Auf diese Weise ist man also durch Vor- und Rückwärtsschieben des Brettes *S* im Stande, die Stärke der Inductionsströme nach Belieben zu reguliren.

Die Drahtenden *x* und *y* werden in geeigneter Weise mit dem Elektromotor und dem Rheotom in Verbindung gesetzt. Die Drahtenden der Nebenspirale sind in Rinnen an der unteren Seite des Brettes *S* wohlverwahrt bis zu den Messingsäulchen *p* und *q* fortgeführt und an denselben festgelöthet. In die Messingsäulchen *p* und *q* werden endlich die Handgriffe eingeschraubt. Gewöhn-

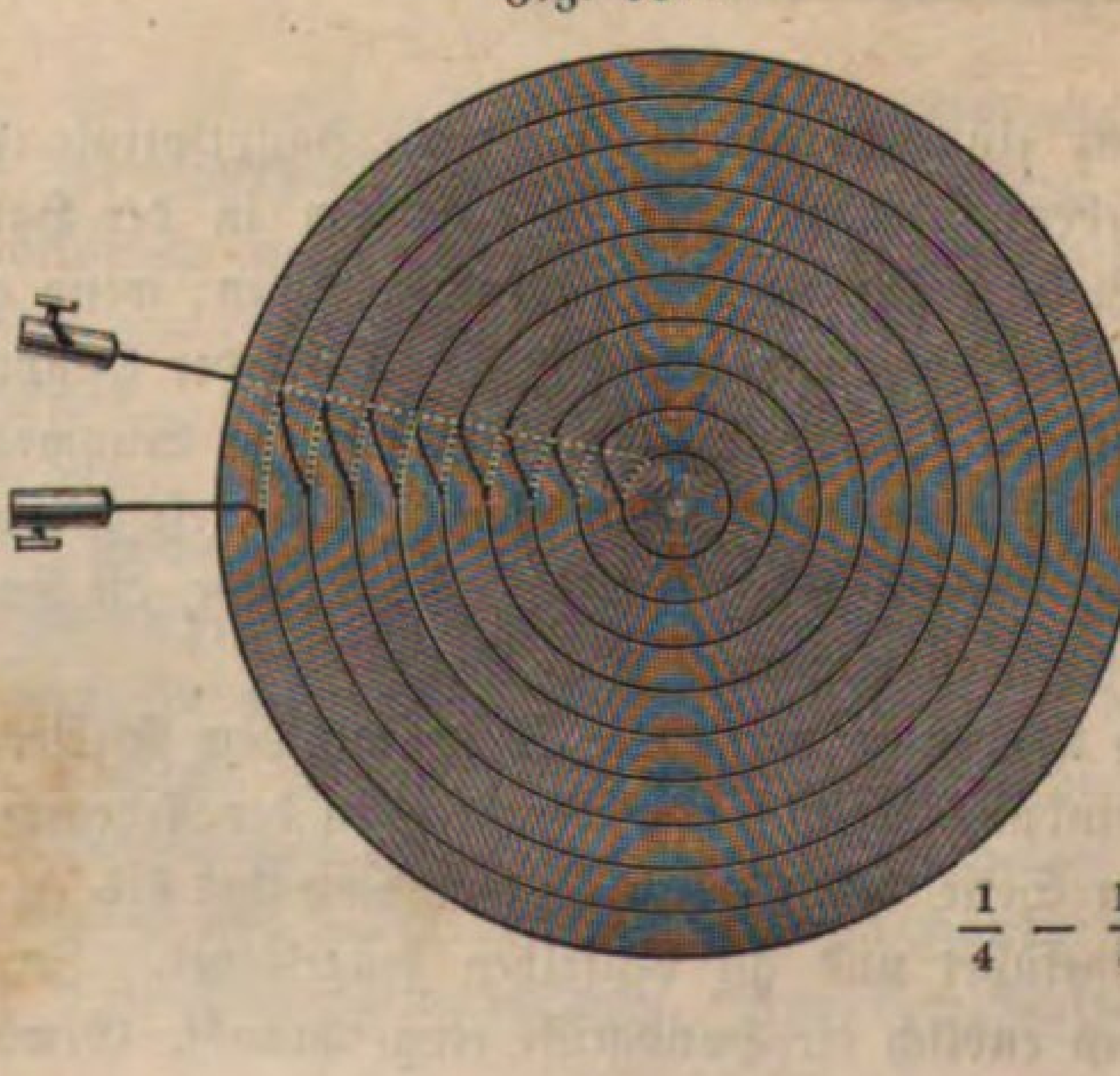
lich wird der oben beschriebene Schlittenapparat mit einem magnetischen Hammer, von der Fig. 353 Seite 374 abgebildeten Art, auf einem und demselben Brette zu einem Ganzen verbunden.

Häufig werden die beiden Spiralen sammt dem Hammerwerk in einen gemeinschaftlichen Kasten vereinigt, welcher dann auch noch das stromerregende Plattenpaar enthält. Die einzelnen Theile solcher Apparate sind in der Regel weniger sichtbar und zugänglich, durch die unvermeidliche Einwirkung der Säuren, durch welche das galvanische Plattenpaar in Thätigkeit gesetzt wird, sind aber die verschiedenen Eisentheile des Apparates einem starken Rosten ausgesetzt.

Statt der oben beschriebenen Handgriffe kann man natürlich auch andere Zuleitungsvorrichtungen anwenden, um die Inductionsströme demjenigen organischen Körper zuzuführen, welche man der Einwirkung dieser Ströme aussetzen will; ein interessanter Versuch besteht z. B. darin, daß man statt der Handgriffe zwei etwa handgroße Metallplatten an den Enden der Inductionsspirale befestigt, diese in einiger Entfernung von einander in Wasser eintaucht und dann das Glied, auf welches man die Elektricität will wirken lassen, also beispielsweise die Hand, ohne die Polplatten zu berühren, zwischen dieselben in das Wasser hält. In diesem elektrischen Bade entzieht der eingetauchte Körpertheil dem Wasser den größten Theil der dasselbe durchströmenden Elektricität, und wird also auf allen Punkten auf das Lebhafteste erregt. Man begreift wohl, wie wichtig solche Bäder für die ärztliche Anwendung sein können.

140 **Inductionsströme durch Reibungselektricität.** Auch der Entladungsstrom der Leydner Flasche bringt einen Inductionsstrom in einem benachbarten Drahte hervor, wie man dies am besten mit den von Rieß construirten ebenen Inductionsspiralen zeigen kann. In einem dicken Brett, welches sich nicht verzieht, sind concentrische Ringe eingeschnitten, Fig. 357, und durch gekrümmte Einschnitte zu einer spiralförmigen Figur vereinigt. In diese spiralförmige Rinne wird dann ein Kupferdraht eingelassen und durch Pech gehörig isolirend befestigt. Auf einem zweiten Brette ist in ganz gleicher Weise ein Kupferdraht so befestigt, daß, wenn man die mit den Windungen versehenen Seiten einander zukehrt, die Windungen des einen Brettes denen des anderen genau parallel sind.

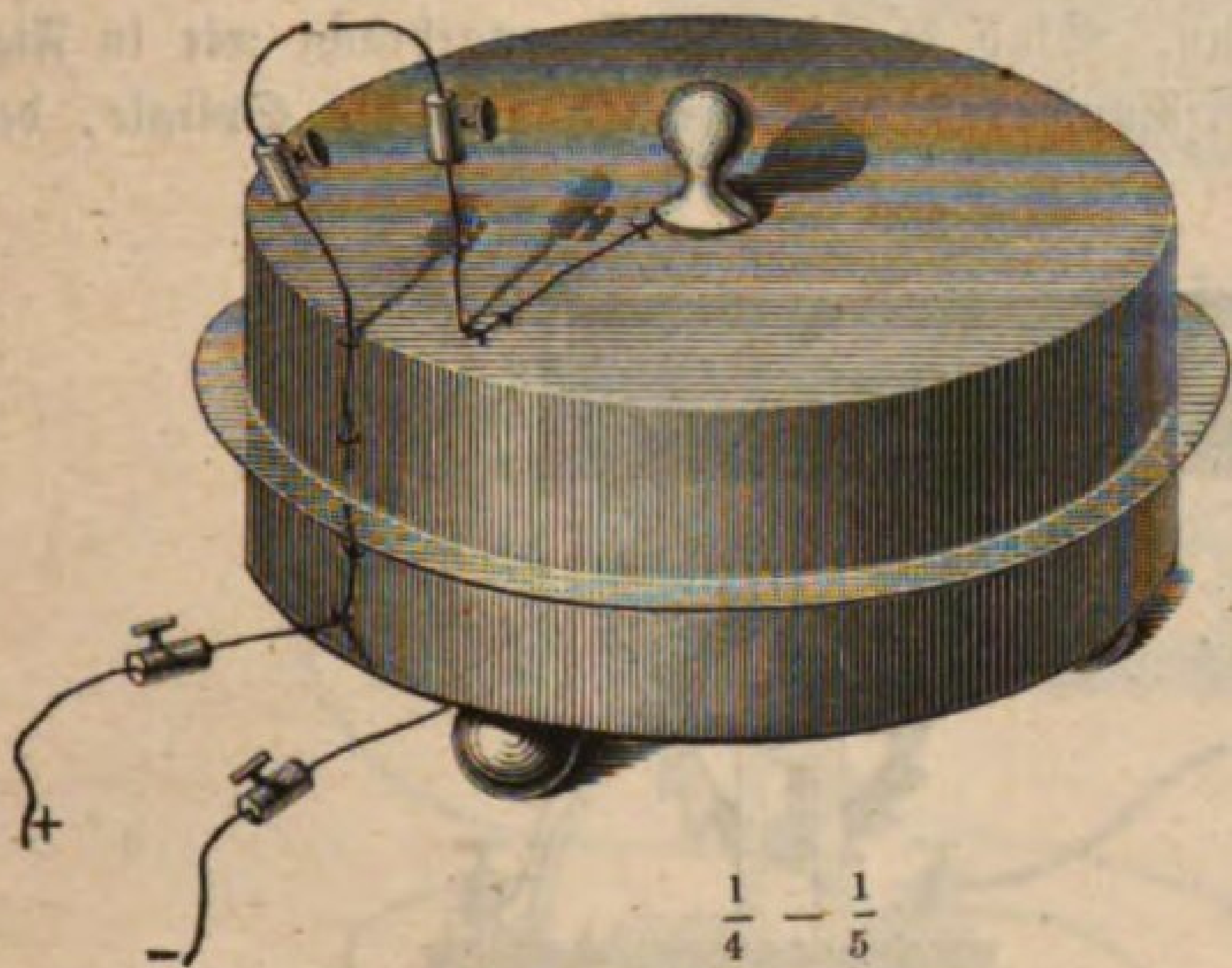
Fig. 357.



$\frac{1}{4} - \frac{1}{5}$

Fig. 358 zeigt, wie man zwei solche Scheiben am bequemsten zusammenstellt. Auf die untere, deren Oberfläche eine horizontale Oberfläche bildet, wird zunächst eine Glasplatte und auf diese dann die zweite Scheibe in der angegebenen Weise aufgelegt. Wenn man in die Klemmschrauben der oberen Scheibe Drähte einschraubt und deren Enden bis auf 1 oder 2 Linien nähert, so springt durch diesen Zwischenraum ein Funken über, wenn man den Entladungsstrom einer Leydner Flasche durch die Windungen der unteren hindurchsendet.

Fig. 358.

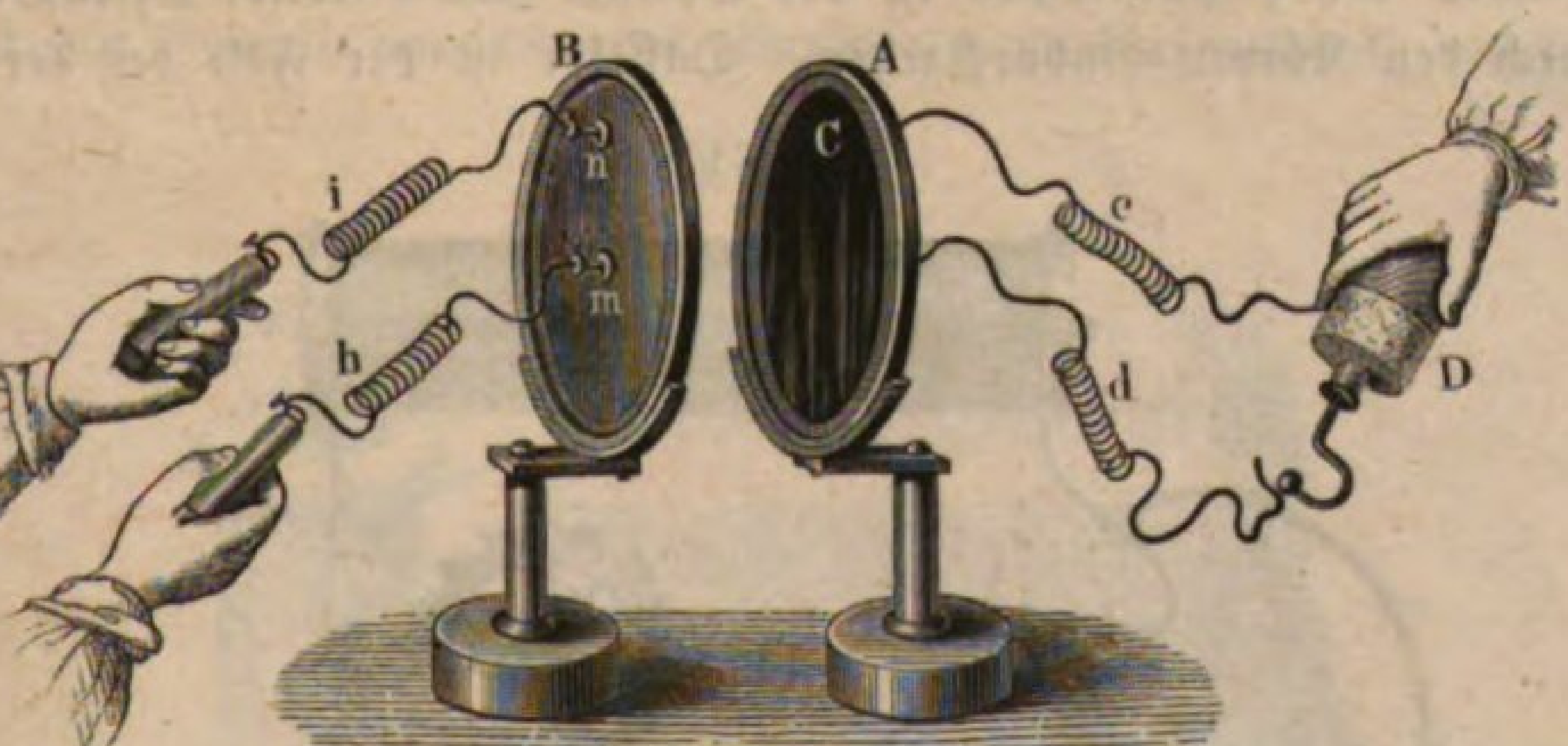


$\frac{1}{4} - \frac{1}{5}$

Wenn man in die Klemmschrauben der oberen Scheibe Handgriffe von der Fig. 355 dargestellten Art einsetzt und diese mit befeuchteten Händen anfaßt, so erhält man einen Schlag, wenn eine Leydner Flasche durch die Windungen der anderen Scheibe entladen wird. Dieser Schlag ist aber sehr schwach, weshalb nicht mehr als eine Person in den Schließungsbogen der Inductionsspirale eingeschaltet sein darf.

Um den Abstand der beiden Scheiben nach Belieben ändern zu können, ist es bequemer, wenn sie vertical aufgestellt sind, wie dies Fig. 359 erläutert.

Fig. 359.

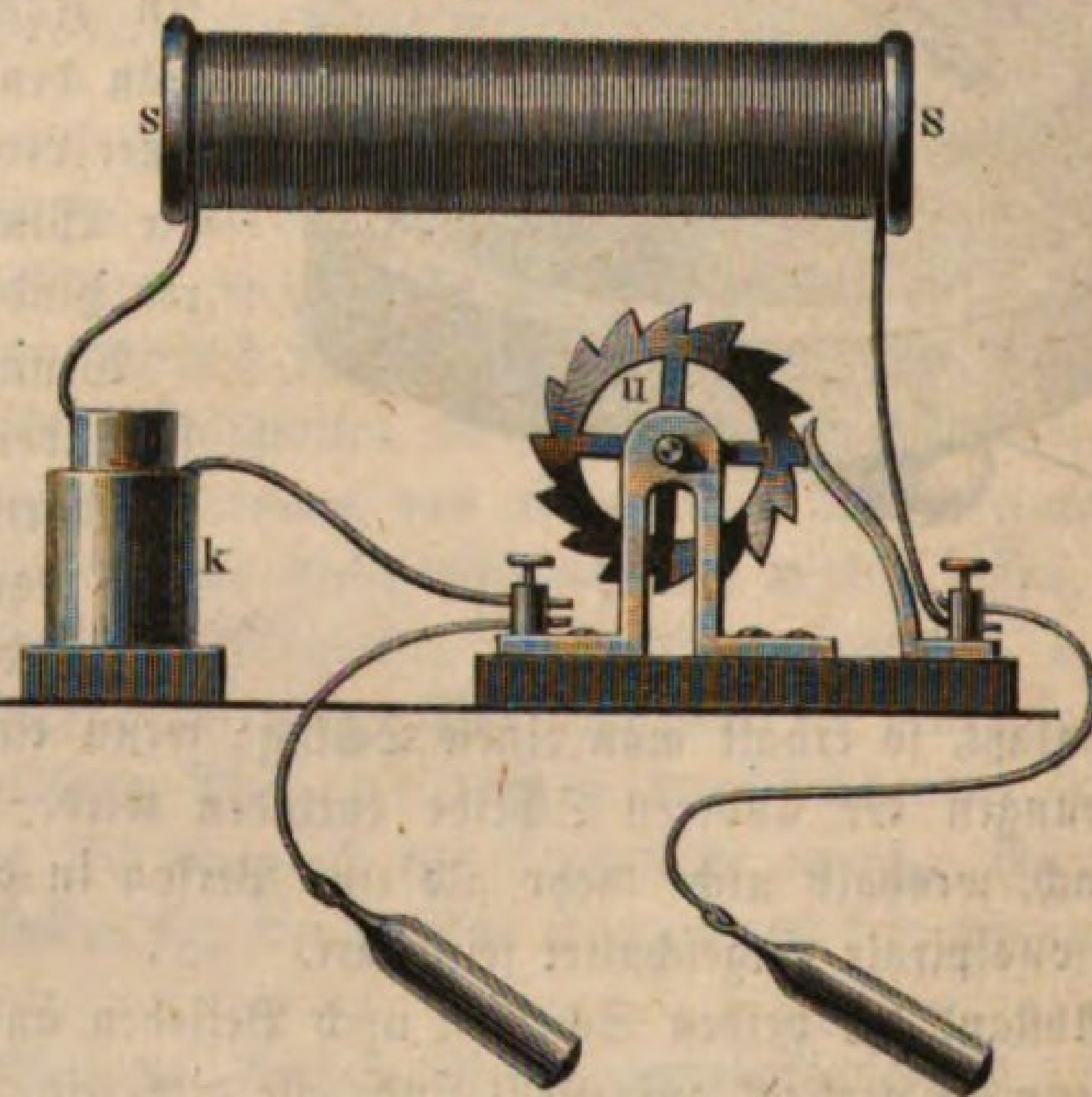


Der Extrastrom. Schließt man ein einfaches galvanisches Element 141
durch eine Spirale, welche aus vielen Windungen eines übersponnenen Kupferdrahtes gebildet ist, bringt man alsdann zwei Handhaben so an, daß nach Unterbrechung des Stromes die Spirale durch den menschlichen Körper geschlossen ist, welcher die Handhabe faßt, so erhält man im Moment der Oeffnung der Kette einen mehr oder weniger heftigen, von dem sogenannten Extrastrom

herrührenden Schlag, welcher in der Spirale entsteht in dem Augenblick, in welchem der Hauptstrom aufhört.

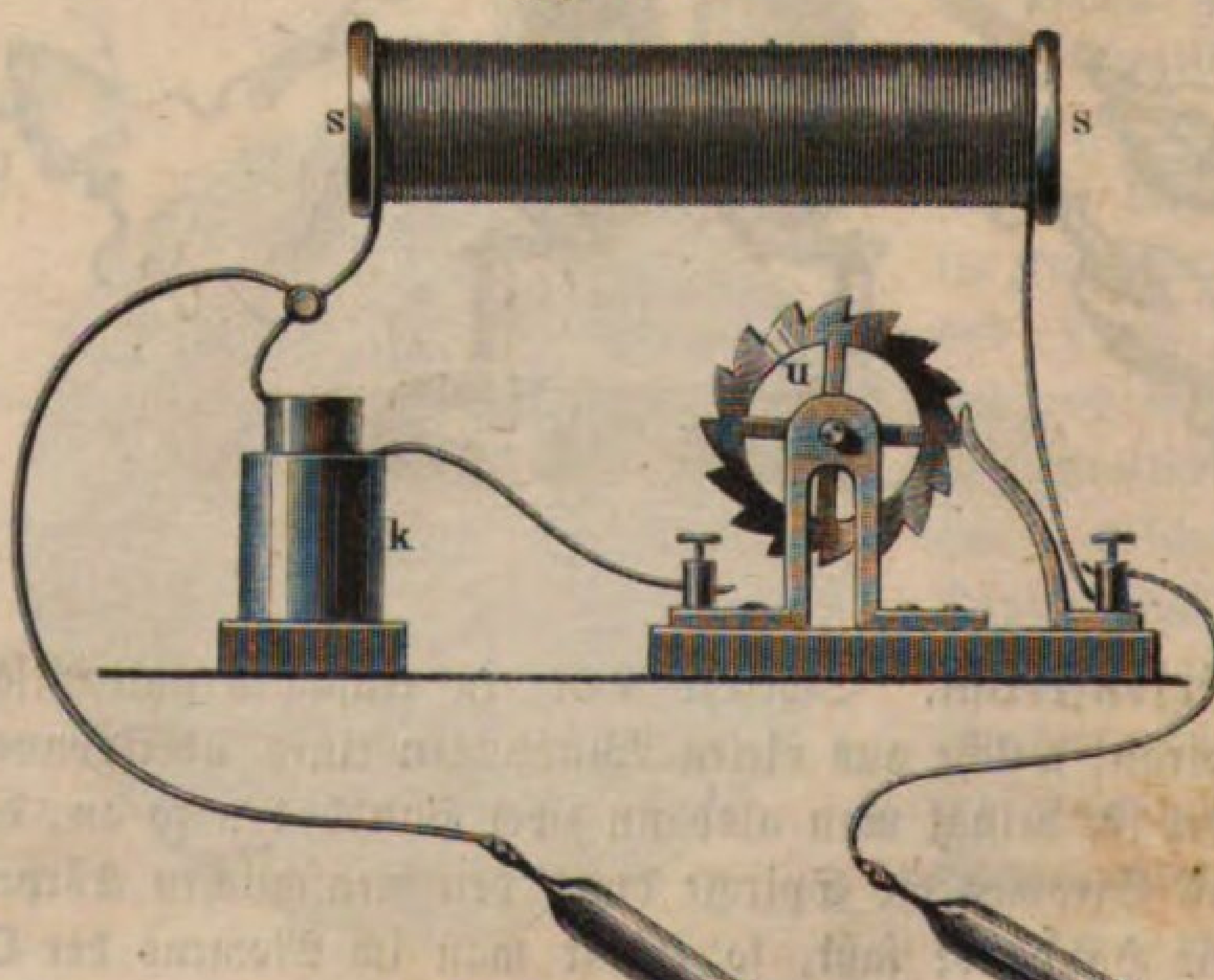
Die Art und Weise, wie man den Versuch anordnen kann, ist in beistehenden Figuren schematisch dargestellt. *S* ist die Drahtspirale, *k* ist der Volta'sche Becher; *u* ist der Stromunterbrecher, für welchen man auch das in Fig. 353 dargestellte Rheotom anwenden kann. Sind die Handgriffe angebracht wie in Fig. 360, so bildet nach Unterbrechung des Hauptstromes noch die Spirale, der

Fig. 360.



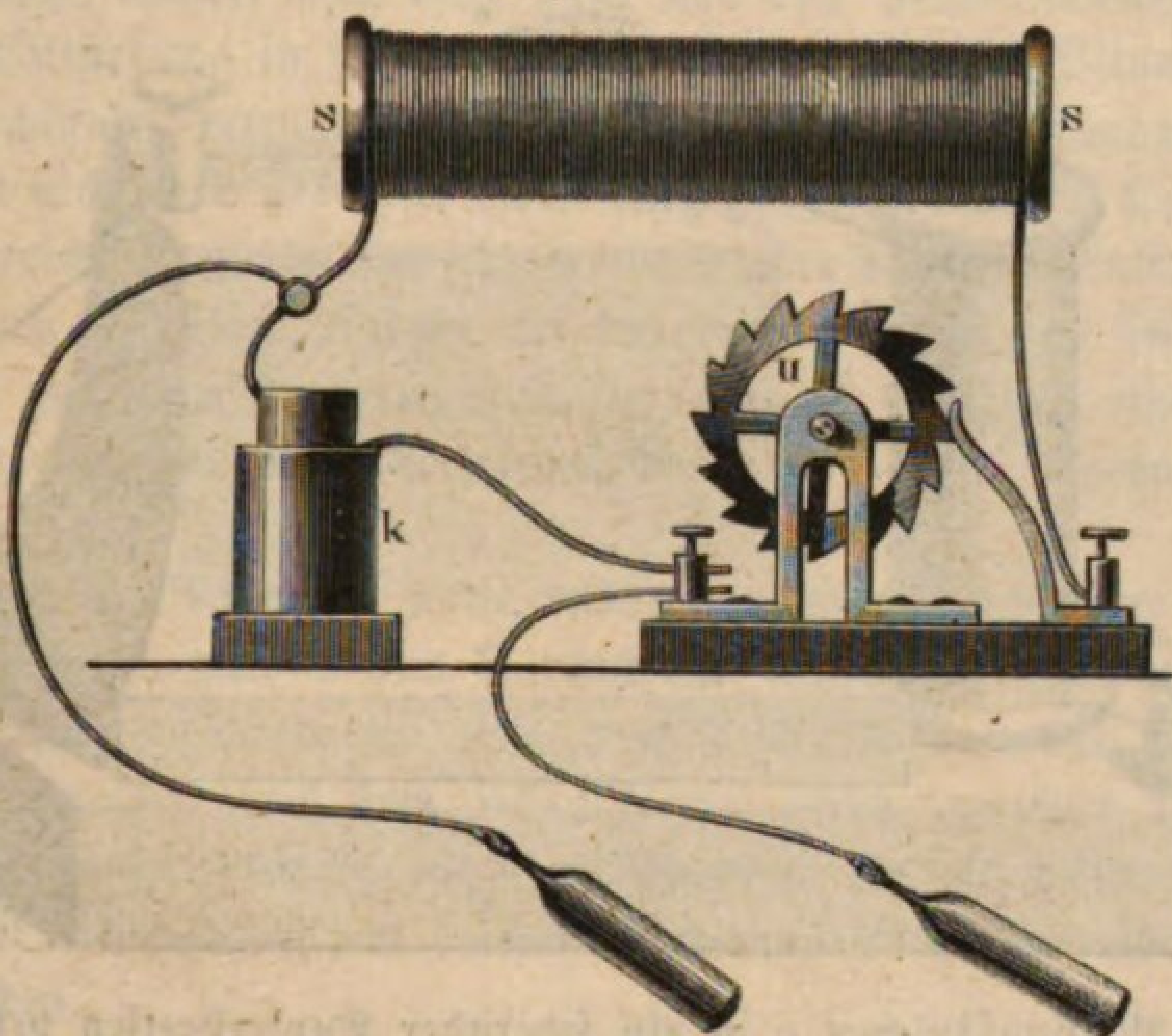
Volta'sche Becher und der menschliche Körper eine geschlossene Kette; der beim Verschwinden des Hauptstromes in der Spirale sich bildende Extrastrom kann also durch den Körper hindurchgehen. Dasselbe ist der Fall bei der in Fig.

Fig. 361.



361 dargestellten Anordnung; hier ist nach Unterbrechung des Hauptstromes die Spirale allein durch den Körper geschlossen, welcher den Schlag erhält; der Volta'sche Becher ist hier ausgeschaltet. Bei der Anordnung Fig. 362 endlich

Fig. 362.

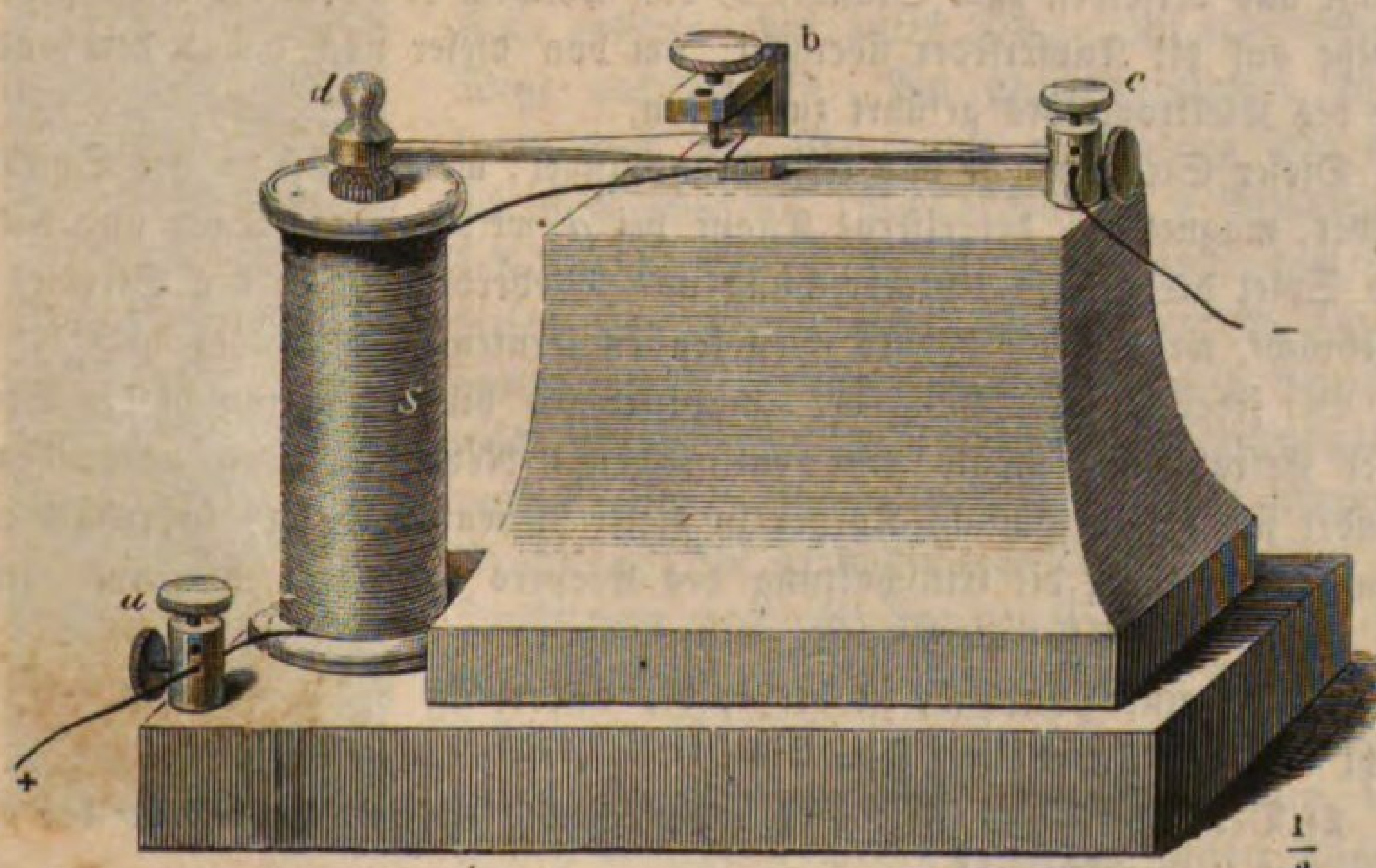


erhält man keinen Schlag, weil nach Unterbrechung des Hauptstromes nur der Volta'sche Becher noch durch den Körper geschlossen, die den Extrastrom erzeugende Spirale aber ausgeschaltet ist.

Fig. 363 stellt eine Extrastromspirale dar, welche mit dem elektromagnetischen Hammer zu einem System verbunden ist, und welche sich vorzugsweise eignet, um kräftige physiologische Wirkungen hervorzubringen.

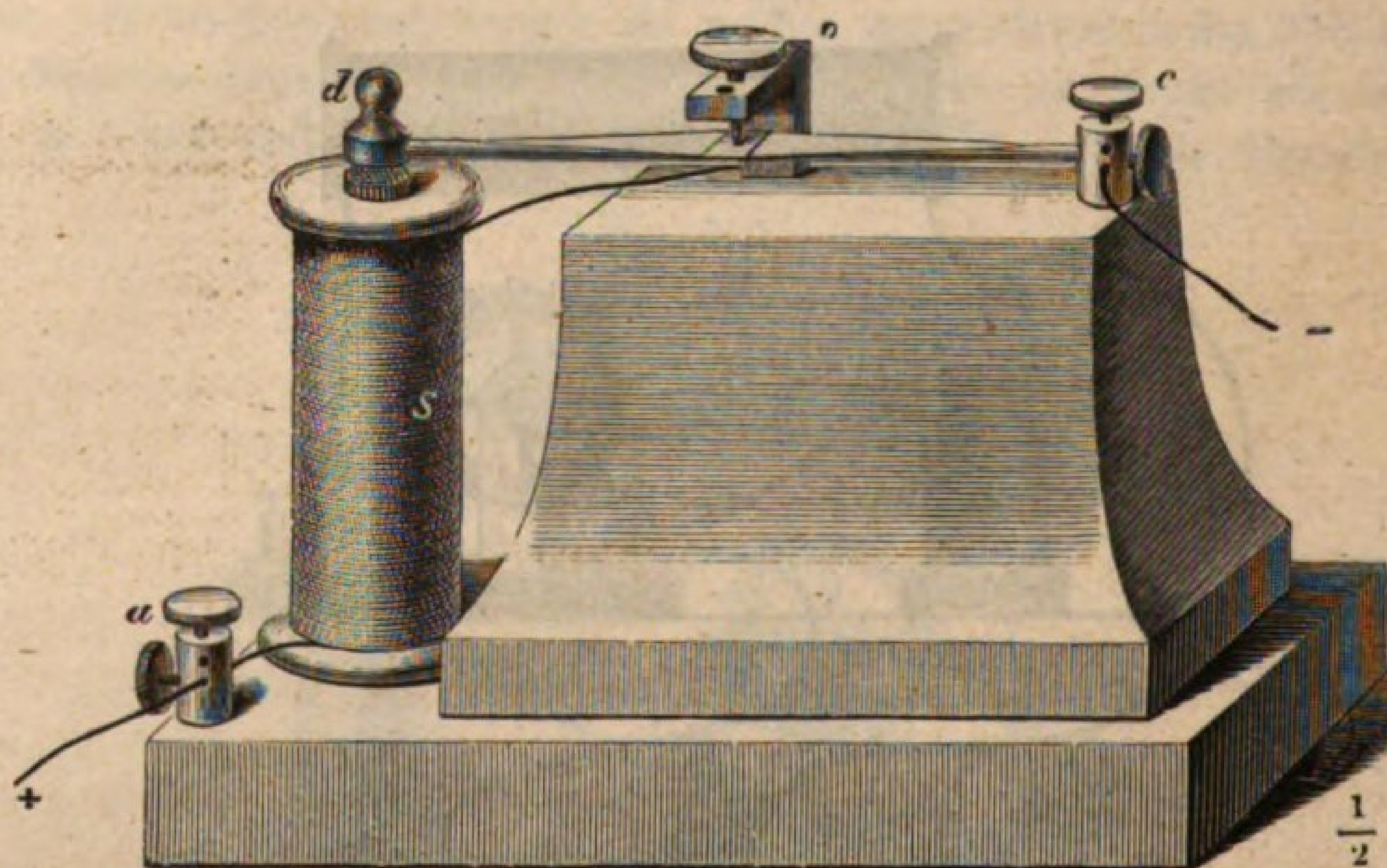
S ist die Spirale von dünnem übersponnenen Kupferdraht, welcher auf

Fig. 363.



eine Hülse von Holz gewickelt ist. Die beiden Drahtenden dieser Spirale führen zu den Messingständern *a* und *b*. Im Inneren der Holzhülse befindet sich ein Bündel von Eisendrähten.

Fig. 364.



In dem Messingsäulchen *c* ist ein federnder Kupferstreifen befestigt, dessen anderes Ende in einem kleinen Zwischenraum über dem erwähnten Drahtbündel ein eisernes Knöpfchen *d* trägt. Die Kupferfeder drückt ungefähr in der Mitte ihrer Länge schwach gegen eine von oben herabkommende Platinspitze an, welche sich am unteren Ende einer in dem Ständer *b* angebrachten Schraube befindet. Da, wo die Kupferfeder mit der Spitze in Berührung kommt, ist gewöhnlich ein kleines Platinplättchen aufgesetzt.

Der eine Pol eines Volta'schen Elementes wird nun bei *a*, der andere bei *c* eingeschraubt. Der bei *a* eintretende Strom durchläuft die Spirale *S*, gelangt aus derselben zum Ständer *b*, von welchem er durch die erwähnte Platinspitze auf die Kupferfeder übergeht, um von dieser nach *c* und dem anderen Pole des Elektromotors geführt zu werden.

Dieser Strom macht das Eisendrahtbündel, welches sich in der Spirale *S* befindet, magnetisch, der eiserne Knopf bei *d* wird niedergezogen und dadurch jenes Spiel der raschen Unterbrechung und Wiederherstellung des Stromes hervorgebracht, welches wir bereits oben kennen lernten.

Bei jeder Unterbrechung des Hauptstromes bildet sich nun in der Spirale *S* der Extrastrom, sobald eine entsprechende Nebenschließung vorhanden ist. Befindet sich der menschliche Körper in dieser Nebenschließung, so erhält er die bekannten Schläge; die Einschaltung des Körpers kann nun hier auf verschiedene Weise ausgeführt werden.

1) Die eine Handhabe ist bei *b*, die andere ist bei *c* eingesetzt. Es entspricht dies der Anordnung Fig. 360.

2) Der Anordnung Fig. 361 entsprechend, ist eine Handhabe bei *a*, die andere bei *b* eingeschraubt.

In diesen beiden Fällen erhält man die Schläge des Extrastromes, nicht aber wenn

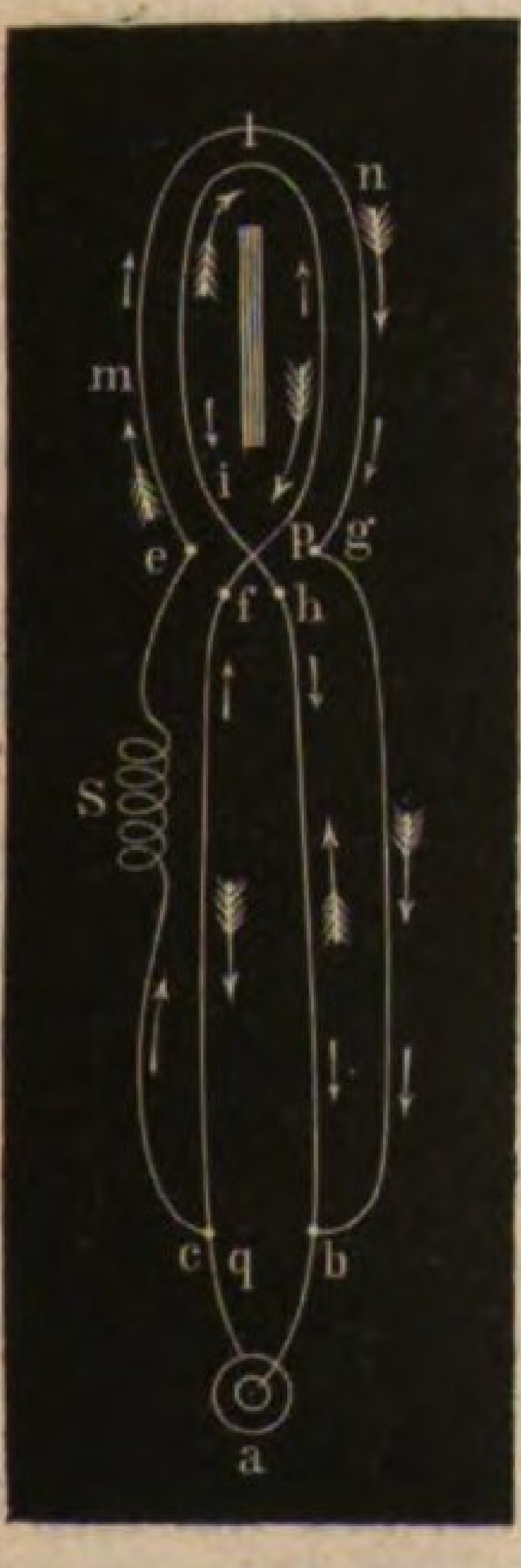
3) die eine Handhabe bei *a*, die andere bei *c* eingesetzt ist, was der Anordnung Fig. 362 entspricht.

Faraday, welcher auch diese neue Art von Inductionsströmen entdeckte, erklärt ihre Entstehung in folgender Weise: Der elektrische Strom, welcher eine Spirale durchläuft, erzeugt in den parallel laufenden Windungen des Nebendrahtes beim Schließen der Kette einen entgegengesetzten, beim Oeffnen derselben einen gleichgerichteten Inductionsstrom; fehlt aber dieser Nebendraht, so erzeugt der Hauptstrom in seinem eigenen Leitungsdraht, indem eine Windung inducirend auf die andere wirkt, einen Inductionsstrom, und zwar einen dem Hauptstrom entgegengesetzten beim Schließen der Kette, einen gleichgerichteten beim Oeffnen derselben.

Der beim Schließen der Kette inducirte Strom kann keine merkliche Wirkung hervorbringen, weil er dem Hauptstrom entgegengesetzt ist; die vorher besprochenen Schläge rühren nur von dem beim Oeffnen der Kette inducirten Strome her, welcher mit dem Hauptstrome gleich gerichtet ist. Faraday nannte diesen im Hauptdraht selbst entstehenden Inductionsstrom den **Extrastrom**, zur Unterscheidung von solchen Strömen, welche in einem Nebendraht inducirt werden.

Wir wollen deshalb auch solche galvanische Erschütterungsapparate, in welchen die Schläge vom Extrastrom herrühren, wie beim Apparat Fig. 364, durch den Namen **Extrastrom-Apparate** von den ähnlich wirkenden Apparaten mit Nebendraht unterscheiden, die wir im vorigen Paragraph kennen lernten und die man kurz **Inductionsapparate** nennen kann.

Fig. 365.



Die Existenz des dem Hauptstrome entgegengesetzten Extrastromes, welcher beim Schließen der Kette entsteht, hat zuerst **Dove** auf experimentellem Wege nachgewiesen. Am unzweideutigsten hat **Edlund** den Extrastrom auch zu Anfang des primären nachgewiesen. (**Poggendorff's** Annalen, Bd. LXXVII, S. 161.) Der Apparat, den er zu diesem Zwecke anwendete, hat folgende in Fig. 365 schematisch dargestellte Einrichtung. *a* ist eine galvanische Säule, von deren Polen zwei Leitungsdrähte nach *b* und *c* führen; von hier führen wieder vier Drähte *bg*, *bh*, *cf* und *ce* zu den Drahtenden zweier Drahtlagen von übersponnenem Kupferdraht, welche ein Magnetometer umgeben und von denen jede für sich eine geschlossene Leitung von mehreren parallel neben einander liegenden Drahtwindungen bildet; *emng* stellt die äußere, *fplih* die innere Drathlage

bar. Die Verbindung ist, wie man leicht übersieht, von der Art, daß der Strom, welchen die Batterie *a* liefert, sich bei *c* und *b* theilt und die beiden Drahtlagen in entgegengesetzter Richtung durchläuft, so daß bei gehöriger Abgleichung keine Ablenkung des Magnetometers durch den primären Strom der Kette *a* entstehen kann. In unserer Figur ist der Verlauf des durch den Elektromotor *a* direct erzeugten Stromes durch die ungefiederten Pfeile ⟶ dargestellt.

Bei *q* war eine einfache Vorrichtung getroffen, wodurch die Kette bequem und gleichförmig geöffnet und geschlossen werden konnte. Um dem Hauptstrom eine entgegengesetzte Richtung geben zu können, war in die Leitung *cab* ein Commutator eingeschaltet. Das Magnetometer war mit einem Spiegelapparate versehen und wurde mit einem Fernrohre beobachtet, wie es bei magnetischen Beobachtungen gebräuchlich ist.

Wenn nun bei *S* eine Drahtrolle eingeschaltet wird, so muß, wenn das Gleichgewicht am Magnetometer nicht gestört werden soll, in die Zuleitung zur inneren Drahtlage, etwa zwischen *c* und *f*, ein entsprechender Widerstand eingeschaltet werden; um aber zu verhindern, daß in dieser zwischen *c* und *f* angebrachten Einschaltung ein Inductionsstrom entstände, welcher dem in *S* erzeugten, welcher untersucht werden soll, entgegenwirken könnte, so wurde dieser Einschaltungsdraht über zwei Glasstangen gewunden, welche drei Meter weit von einander abstanden, so daß also der Draht zwischen den Glasstangen geradlinig ausgespannt war.

Wurde nun, nachdem die Widerstände so abgeglichen waren, daß die innere und äußere Drahtlage am Magnetometer sich das Gleichgewicht hielten, der Strom bei *q* unterbrochen, so bildete sich in der Spirale *S* ein Extrastrom, welcher in der Richtung circulirt, wie es die gefiederten Pfeile ⟶ andeuten, welcher also, die innere und die äußere Drahtlage in gleicher Richtung durchlaufend, den Magnetometerstab ablenken muß.

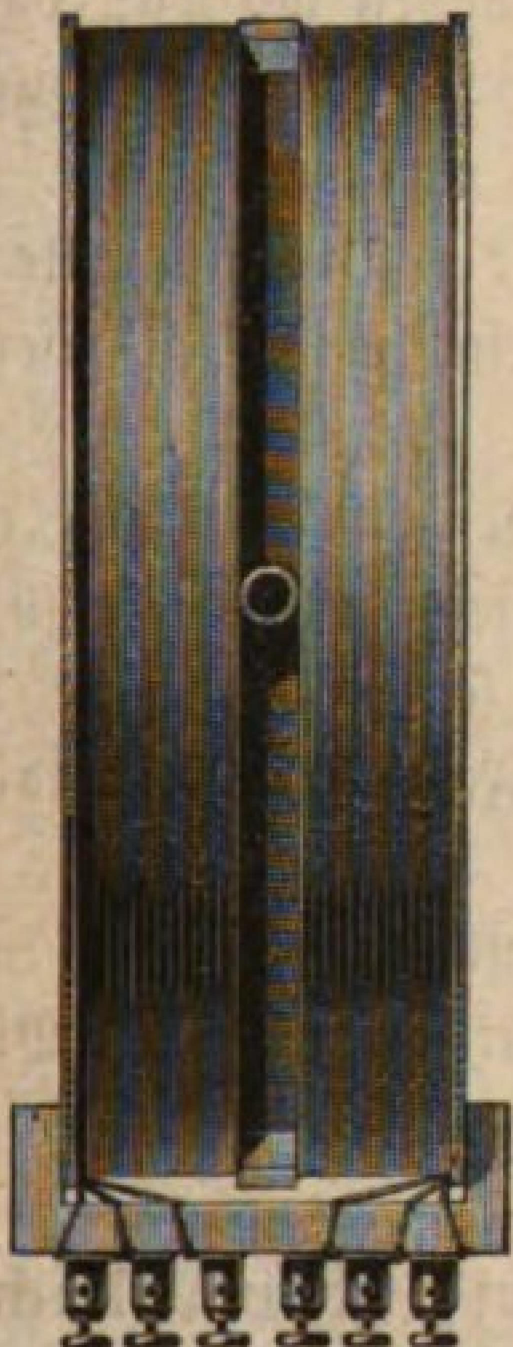
Wird die Kette wieder geschlossen, so muß das nämliche Verhältniß stattfinden, d. h. es wird auch jetzt der bei der Schließung in *S* inducirte Extrastrom die beiden Drahtlagen in gleicher (den gefiederten Pfeilen entgegengesetzter) Richtung durchlaufen, es findet gegen den vorigen Fall nur der Unterschied Statt, daß ein Theil des Inductionsstromes durch die Leitung *cab* strömt.

Bei Anstellung der Versuche ergab sich nun, daß der Ausschlag des Magnetometers beim Schließen der Kette gleich und entgegengesetzt war demjenigen, welcher beim Oeffnen entsteht, und daraus ergiebt sich, daß wenn im Schließungsbogen eines galvanischen Rheomotors eine Drahtspirale eingeschaltet ist, beim Schließen der Kette sowohl wie beim Oeffnen derselben durch die Einwirkung jedes Stromtheils auf die benachbarten Windungen Ströme inducirt werden, welche unter sonst gleichen Umständen in beiden Fällen gleiche Stärke haben.

Zum vollen Verständniß dieses Paragraphen ist nur noch eine kurze Beschreibung des Magnetometers nöthig, mit welchem Edlund die Versuche an-

stellte; dieses Instrument hatte ungefähr die Einrichtung des bereits auf S. 281 beschriebenen, dessen Multiplicatorwindungen wir jetzt näher betrachten wollen.

Fig. 366.



Das kupferne Gehäuse, innerhalb dessen der Magnetstab spielt, ist von neun concentrischen Drahtlagen umgeben, deren jede aus 80 Windungen besteht. Diese neun Drahtlagen bilden aber nicht ein zusammenhängendes Ganze, sondern sie bestehen aus drei Stücken, von denen jedes drei Lagen bildet. Die Drahtenden desjenigen Drahtstücks, welches die drei untersten Lagen bildet, sind mit Messingsäulchen *f* und *f′* verbunden; die drei mittleren Drahtlagen endigen in den Messingsäulchen *g* und *g′*, die drei oberen in den Messingsäulchen *h* und *h′*.

Diese Einrichtung macht es möglich, die drei Abtheilungen des Multiplicatordrahtes auf verschiedene Weise zu combiniren. Um die Edlund'schen Versuche anzustellen, kommen nur zwei dieser Abtheilungen in Anwendung und zwar so, daß sie von dem directen Strom der Säule in entgegengesetzter Richtung durchlaufen, keine Ablenkung des Magnetometerstabes bewirken.

Verstärkung der Inductionsströme durch Eisen. Schiebt man 142
in die Höhlung einer Inductionsspirale weiches Eisen ein, so wird dadurch die Wirkung bedeutend erhöht. Für die physiologischen Wirkungen ist es jedoch keineswegs gleichgültig, in welcher Gestalt das Eisen eingeschoben wird, denn die Schläge werden, wie Sturgeon zuerst beobachtete, durch ein Bündel von Eisenstäben bedeutend mehr verstärkt, als durch einen massiven Eisenstab.

Die verstärkende Wirkung eines Bündels von Eisendrähten äußert sich sowohl bei Inductionsströmen, welche in einem Nebendraht inducirt werden, als auch beim Extrastrom. Die kräftige Wirkung, welche der Fig. 363 abgebildete Neef'sche Apparat selbst bei geringen Dimensionen giebt, rührt großentheils von dem in der Höhlung der Spirale steckenden Eisendrahtbündel her.

Faraday erklärt die verstärkende Wirkung des weichen Eisens überhaupt auf folgende Weise: Wenn sich innerhalb der Spirale ein Eisenstab befindet, so verschwindet beim Oeffnen der Kette gleichzeitig mit dem Hauptstrom auch der durch denselben hervorgerufene Magnetismus; das Verschwinden des Magnetismus wirkt aber wie das Verschwinden von elektrischen Strömen; der verschwindende Magnetismus inducirt gleichfalls einen mit dem verschwindenden Hauptstrom gleichgerichteten Strom, und daher rührt die Verstärkung durch das Eisen.

Diese Erklärung bedarf nun, wie Magnus nachweist, noch einer Ergänzung, wenn sie auch die noch bedeutendere Wirkung der Eisendrahtbündel umfassen soll. Der verschwindende Hauptstrom inducirt nämlich auch gleichgerichtete

Ströme in der Masse des Eisens, wodurch dem Verschwinden des Magnetismus entgegengewirkt und die verstärkende Wirkung desselben geschwächt wird. Alles, was die Bildung dieser Ströme in der Eisenmasse hindert, wird also natürlich auch die Wirkung des verschwindenden Magnetismus erhöhen müssen; da nun in einem Drahtbündel die durch das Verschwinden des Hauptstromes inducirten Ströme nicht so ungehindert sich bilden können wie im massiven Eisen, so ist klar, daß der Effect des verschwindenden Magnetismus des Drahtbündels auch nicht durch diese Ströme vermindert wird, wie dies beim massiven Eisen der Fall ist.

Wenn das Eisendrahtbündel mit einer Hülle umgeben ist, die aus einem nicht magnetischen Metall besteht, so wird der verschwindende Magnetismus der Eisenstäbchen zunächst seine inducirende Wirkung auf seine metallische Hülle äußern und nicht auf die Spirale, weshalb in diesem Falle das Drahtbündel kaum so viel wirkt wie ein massiver Eisenstab.

Ein spiralförmig gewundenes Eisenblech, dessen Querschnitt keinen in sich geschlossenen Leiter bildet, wirkt in gleicher Weise verstärkend wie ein Bündel Eisendrähte.

143 **Inducirte Ströme, welche bei galvanometrischer Gleichheit ungleich physiologisch wirken.** Der galvanometrische Effect eines Stromes ist der chemischen Wirkung stets proportional. Anders verhält es sich, wie Dove durch gründliche Untersuchungen nachgewiesen hat, mit den physiologischen Wirkungen. Für Maschinen-Elektricität hatte man längst einen solchen Unterschied gefunden, denn der die Nerven heftig erschütternde Schlag der Leydner Flasche vermag nicht die Magnetnadel abzulenken; er erlangt diese Eigenschaft erst dadurch, daß man die Entladung verzögert, etwa durch Einschaltung einer nassen Schnur, wodurch aber die physiologische Wirkung verschwindet.

Aehnliche Verhältnisse stellen sich nun auch bei Strömen anderer Elektricitätsquellen heraus. Die gewöhnlichen galvanischen Ströme, mächtig auf die Magnetnadel wirkend, sind nicht im Stande, starke physiologische Wirkungen hervorzubringen, während die Inductionsströme bei unbedeutendem galvanometrischen Effect heftige Zuckungen veranlassen.

Vorßelmann de Heer berichtet von einer Inductionsspirale, welche heftige Schläge gab, ohne einen merklichen galvanometrischen Effect zu geben. Auf einem hölzernen Cylinder waren 90 Fuß eines $^1/_{20}$ Zoll dicken Kupferdrahtes spiralförmig aufgewickelt, über diese Spirale aber eine zweite, bestehend aus einem 1500 Fuß langen Kupfetdraht von $^1/_{90}$ Zoll Durchmesser. Die erste Spirale bildet den Schließungsdraht der Kette, die letztere den Inductionsdraht. Schloß man diese Inductionsspirale durch den Körper, so erhielt man einen wahrhaft unerträglichen Schlag, so oft der die innere kürzere Spirale durchlaufende Strom unterbrochen wurde. Schaltete man aber zwischen den Drahtenden der Inductionsspirale statt des menschlichen Körpers ein Galvanometer ein, so wich die Nadel desselben nicht von der Stelle, wenn der Hauptstrom unterbrochen wurde. (Pogg. Annal. Bd. XLVI, S. 530.)

Aus einer Verstärkung der physiologischen Effecte läßt sich also durchaus nicht auf eine vermehrte galvanometrische Wirkung schließen, und so hat denn auch Dove nachgewiesen, daß die kräftigeren Schläge, welche durch Anwendung von Drahtbündeln statt massiver Eisenkerne hervorgebracht werden, keineswegs von einer Verstärkung des Stromes herrühren. (Pogg. Annal. Bd. XLIX, S. 72.)

Am einfachsten läßt sich dies auf folgende Art zeigen. Man schließe die Nebenspirale durch einen Multiplicator und beobachte die Ablenkung der Nadel, wenn der Hauptstrom geschlossen, oder wenn er unterbrochen wird für die Fälle, daß bald Nichts, bald ein massiver Eisenstab oder ein Drahtbündel in die Höhlung der Spirale eingeschoben ist. Bei einer solchen Versuchsreihe erhielt ich folgende Ablenkungen der Multiplicatornadel:

Ohne Einschiebung	6,5°
Mit einem Bündel dünner Eisendrähte (1mm dick, gefirnißt)	45
Mit einem Bündel dicker Eisendrähte (1 Linie dick, gefirnißt)	48
Mit einem massiven Eisenkern	63

Der Hauptstrom war durch ein kleines Daniell'sches Element erzeugt worden. Bei rasch auf einander folgenden Schließungen und Oeffnungen des Hauptstromes waren ohne Einschiebung die Schläge, selbst bei befeuchteten Händen, nicht über das Handgelenk fühlbar; nach Einschiebung des massiven Eisenstabes ging der Schlag in der eben angedeuteten Stärke durch zwei Personen, nach Einschiebung des Bündels dickerer Drähte durch vier, während das Bündel dünner Drähte die Schläge in gleicher Stärke in einer Kette von fünf Personen fühlbar machte.

Zehn der dünneren und fünf der dickeren Eisenstäbchen geben, in die Spirale eingeschoben, eben so starke Schläge wie der massive Eisenstab; bei physiologischer Gleichheit waren aber die galvanometrischen Wirkungen sehr ungleich, denn es war die Ablenkung des Galvanometers

für die 10 dünneren Stäbchen	28°
für die 5 dickeren Stäbchen	36°
für den massiven Eisenstab	63°

Mit einer anderen Inductionsspirale, welche aus 1800 Fuß eines nur 1mm dicken Drahtes gebildet war, zeigten sich die galvanometrischen Effecte bei weitem schwächer (ohne Einschiebung von Eisen höchstens 2°, bei eingeschobenem massivem Eisenstab 20°), während die physiologischen Effecte viel kräftiger waren.

Im Magnetisiren von Stahlnadeln zeigte sich der durch die Drahtbündel, im Magnetisiren von weichem Eisen der durch den Eisenstab inducirte Strom überwiegend.

Da nun das Elektromagnetisiren des weichen Eisens einen andauernden Strom erfordert, das Magnetisiren des Stahls aber auch bei den plötzlichsten Entladungen erfolgt; da man ferner aus Versuchen mit Reibungselektricität

weiß, daß durch Abgleichen eines gleich großen elektrischen Gegensatzes sehr verschiedene Wirkungen entstehen, je nach der Dauer dieses Abgleichens, indem eine rasche Entladung Schläge, eine langsame hingegen die Ablenkung des Galvanometers hervorzubringen vermag, so kann dies Resultat als ziemlich entscheidend für die Annahme gelten, daß in einem durch ein Drahtbündel inducirten Strom eine bestimmte Elektricitätsmenge in kürzerer Zeit sich durch den Draht bewegt, als wenn dieselbe durch einen massiven eisernen Cylinder in Bewegung gesetzt wird.

Was die Geschwindigkeit betrifft, mit welcher eine gegebene Elektricitätsmenge ausgeglichen wird, so bilden also die Inductionsströme ein Mittelglied zwischen den Entladungen der Reibungselektricität und den galvanischen Strömen. Es läßt sich demnach erwarten, daß man an einer geöffneten Inductionsspirale auch stärkere Spannungserscheinungen beobachten wird, als in einer geöffneten Volta'schen Säule, wenn dieselbe nicht aus tausenden von Plattenpaaren zusammengesetzt ist.

Sinsteden hat dies in der That nachgewiesen. Seine dickdrahtige Hauptspirale war mit Wachstaffent umgeben, und darauf eine 3280 Fuß lange Inductionsspirale von $^1/_4$ Linie Drahtdicke aufgewickelt. In einer Glasröhre steckend, war ein Bündel Eisendrähte in die Hülse eingeschoben.

Wenn durch Drehung des Unterbrechungsrades der Hauptstrom abwechselnd geöffnet und geschlossen wurde, so sprangen zwischen den einander sehr genäherten Drahtenden der Inductionsspirale Fünkchen über; jedes der freien Enden der Inductionsspirale gab nicht nur am Elektrometer starke Elektricität kund, sondern jedes dieser Enden gab auch für sich Funken, und verursachte in Berührung mit der Haut ein empfindliches Stechen. Diese Erscheinungen wurden verstärkt, wenn das andere Ende der Inductionsspirale zum Boden abgeleitet war.

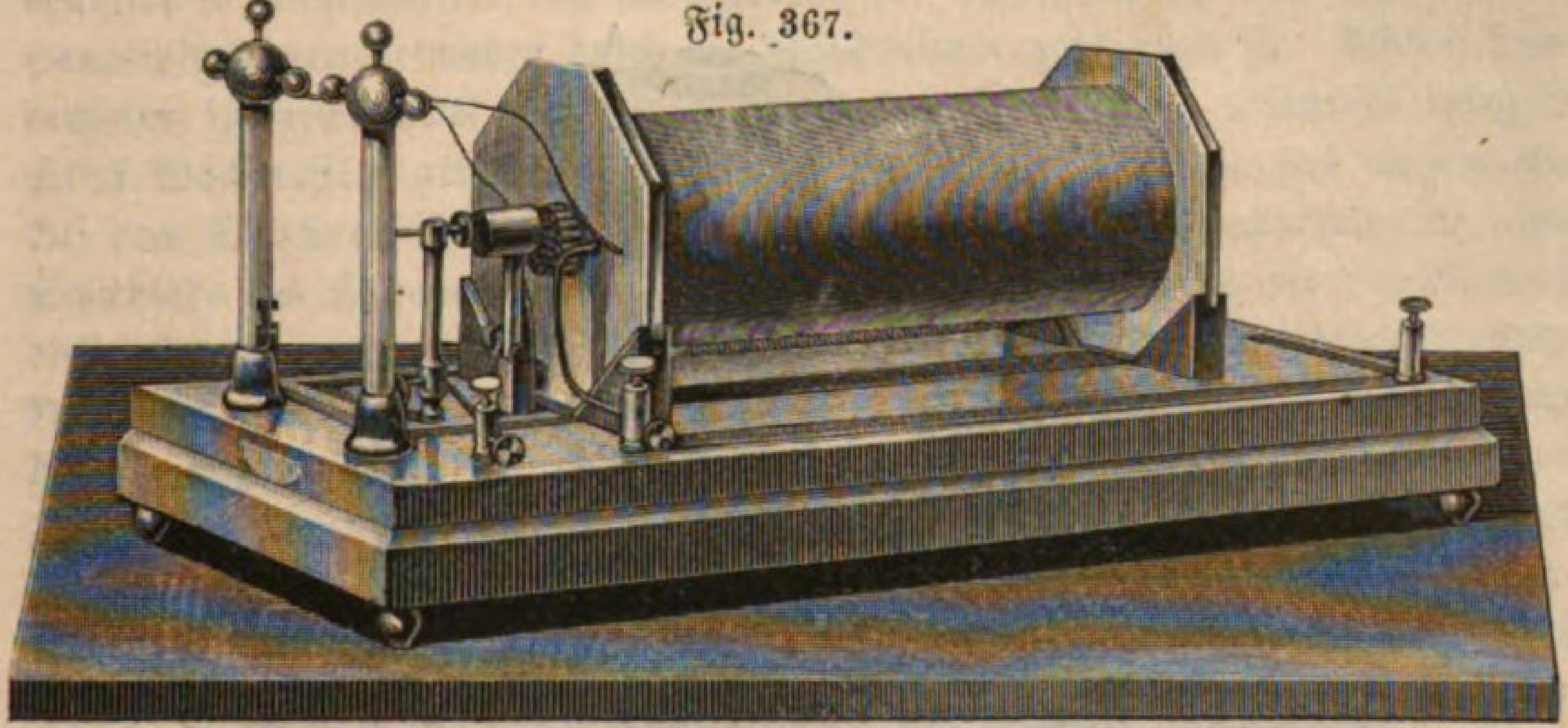
Dubois Reymond hat die Spannung an den freien Enden einer Inductionsspirale durch Zuckungen von Froschschenkeln nachgewiesen, die er unipolare Inductionszuckungen nennt.

144 **Der Funkeninductor.** Durch Vergrößerung der Dimensionen, namentlich aber dadurch, daß man zur Construction der Nebenspirale einen möglichst langen und dünnen Kupferdraht verwendet und für die Isolation der einzelnen Windungen möglichste Sorgfalt trägt, lassen sich die eben beschriebenen Spannungserscheinungen des Inductionsapparates bedeutend steigern, namentlich aber lassen sich zwischen den genäherten Drahtenden der Inductionsspirale Funken von namhafter Länge erzielen.

Solche Inductionsapparate nun, welche vorzugsweise dazu construirt sind, recht lange Inductionsfunken zu geben, könnte man zum Unterschiede von den gewöhnlichen Inductionsapparaten als Funkeninductoren bezeichnen. Häufig werden solche Apparate auch Ruhmkorff'sche genannt, weil Ruhmkorff, ein deutscher Mechaniker in Paris, sie zuerst in größeren Dimensionen ausführte. Fig. 367 stellt einen im Wesentlichen nach einem Ruhmkorff'schen von Frick construirten Funkeninductor dar. Auf eine Hülse von Holz, in welcher ein

Bündel Eisenstäbchen steckt, ist zunächst die aus einem 2 Millimeter dicken Kupferdraht gebildeten Hauptspirale in vier Lagen aufgewickelt, von denen jede 80 Windungen hat. Die Hauptspirale ist mit einer doppelten Lage stark gefir-

Fig. 367.



nißten Papiers umgeben und auf dieses dann die Nebenspirale (Drahtdicke ungefähr $1/_3$ Millimeter) mit 30 Lagen von ungefähr 500 Windungen so aufgewickelt, daß jede Lage von der folgenden durch ein stark gefirnißtes Papier getrennt und dann noch einmal mit Schellackfirniß überdeckt ist

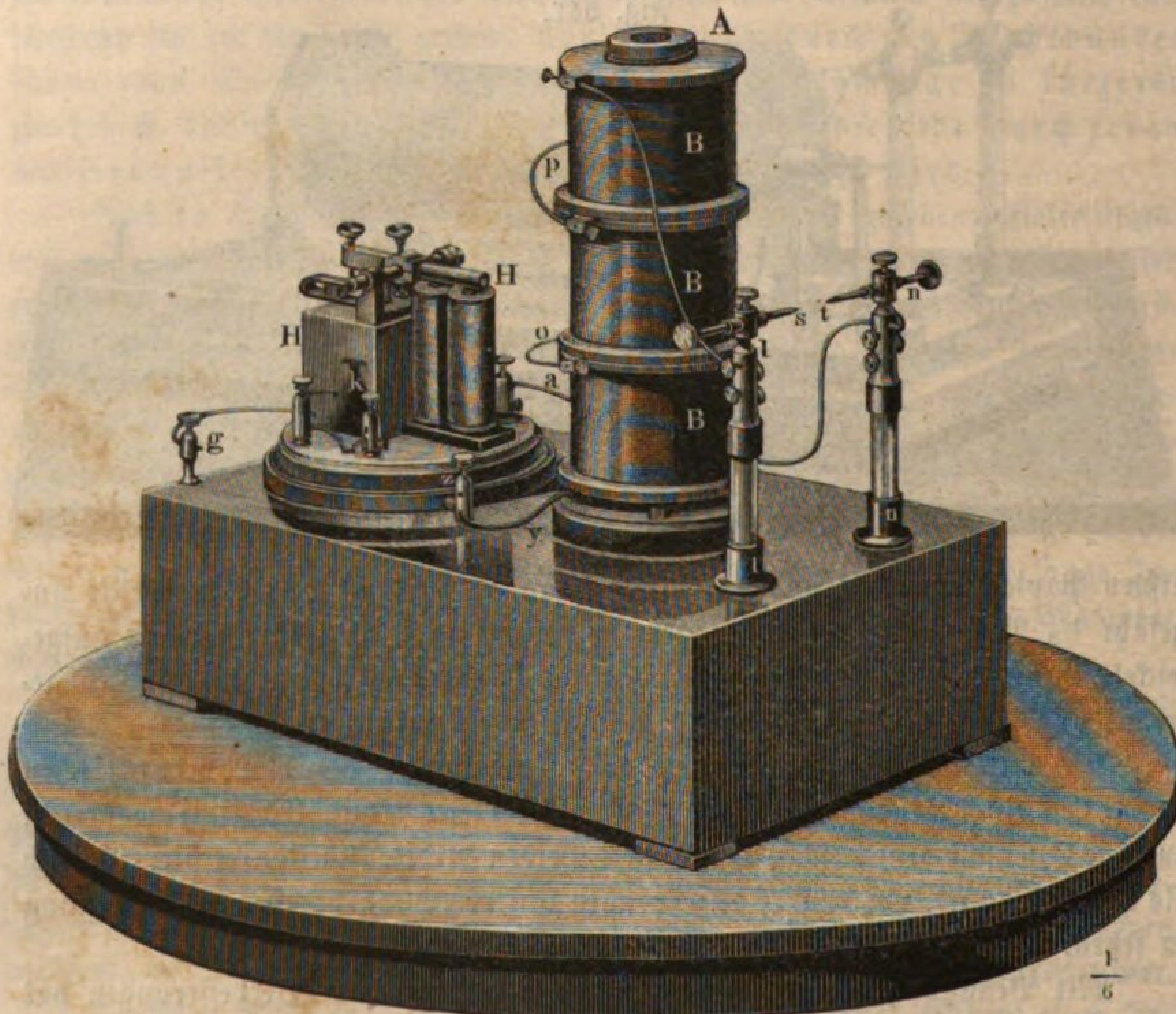
Auf diese Weise bilden Haupt- und Nebenspirale des Ruhmkorff'schen Apparates ein untrennbares Ganze. Die Axe dieses Cylinders liegt wagerecht und das Eisenstäbchen, welches den Kern desselben bildet, functionirt hier zugleich als Elektromagnet, um den Wagner'schen Unterbrechungshammer in Bewegung zu setzen.

Mit Benutzung der von Poggendorff angegebenen Verbesserungen hat Stöhrer einen Funkeninductor, Fig. 368 (a. f. S.) construirt, welcher sich nicht allein durch seine Wirksamkeit, sondern auch durch seine Uebersichtlichkeit auszeichnet. Die Hauptspirale, deren oberes Ende bei *A* sichtbar ist, steht aufrecht; auf diese Hauptspirale wird die Nebenspirale aufgeschoben, welche nicht ein Ganzes bildet, sondern auf drei gesonderte Hülsen vertheilt ist; durch die Verbindungsdrähte *o* und *p* sind dann diese einzelnen Abtheilungen so mit einander verbunden, daß sie eine einzige Spirale von dreifacher Länge repräsentiren. Durch Kupferdrähte sind die Drahtenden der Inductionsspirale *B* mit den durch ein Glassäulchen isolirten Ständern *l* und *n* verbunden, in welchen zwei horizontale Eisenstäbchen stecken, deren mit Platinspitzen versehenen Enden *s* und *t* nach Belieben einander genähert oder von einander entfernt werden können. Diese Spitzen *s* und *t* bilden also eigentlich die beiden Pole der Inductionsspirale.

Der zur Unterbrechung des Hauptstromes dienende magnetische Hammer ist getrennt von dem eigentlichen Inductionsapparate bei *H* aufgestellt, was wesentlich dazu beiträgt, den Apparat übersichtlicher und bequemer zu machen. Eine specielle Beschreibung des Stöhrer'schen Hammers wird wohl nicht nöthig sein, da derselbe, wenn auch seine Form etwas abweichend ist, doch auf denselben

Principien beruht, wie die oben beschriebene Vorrichtung Fig. 353, Seite 374, so daß man ohne etwas Wesentliches zu ändern, das Stöhrer'sche Hammerwerk mit jenem vertauschen könnte. Nur das mag hier noch bemerkt werden,

Fig. 368.



daß beim Stöhrer'schen Apparat der Anker durch eine Spiralfeder aus Stahldraht von den Polen des Elektromagneten zurückgezogen wird, welche nach Belieben stärker oder schwächer gespannt werden kann. Ist die Feder stärker gespannt, so wird der Anker nicht sogleich niedergezogen, wenn der Strom in den Windungen beginnt, sondern erst wenn der Magnetismus der Eisenkerne eine gewisse Stärke erlangt hat, wozu immerhin einige Zeit nöthig ist; die stärkere Spannung dieser Spiralfeder dient also hier zu demselben Zwecke, welcher in dem Apparat Fig. 353 durch die Feder *p* erzielt wird.

Der eine, etwa der positive Pol des Rheomotors wird in das Messingsäulchen *k* eingeschraubt, der andere in *z*. Der Strom geht dann von *k* durch den Stromunterbrecher und den Verbindungsdraht *a* in die Windungen der Hauptspirale und aus dieser dann durch den Draht *y* über das Messingsäulchen *z* zum negativen Pol der Säule.

Bevor wir nun zu der Beschreibung der mit dem Funkeninductor anzustellenden Versuche übergehen, muß noch eine Vorrichtung besprochen werden,

durch welche Fizeau die Wirkung des Funkeninductors sehr bedeutend steigert, nämlich des Condensators.

In dem Schließungsbogen der Hauptspirale wird nämlich ein nach dem Princip der Leydner Flasche oder der Franklin'schen Tafel construirter Condensator so eingeschaltet, daß im Moment der Unterbrechung des Stromes die Hauptspirale gewissermaßen durch den Condensator geschlossen ist. Dieser Condensator ist gewöhnlich aus einem auf beiden Seiten mit Stanniol belegten Stück Wachstaffent gebildet und in der Bodenplatte des Apparates angebracht. Bei dem Stöhrer'schen Funkeninductor befindet sich der Condensator in einer Schieblade des Kastens, auf welchem der ganze Apparat steht; die Construction dieses Condensators selbst ist bereits oben auf Seite 138 beschrieben worden. Das Messingsäulchen *d* des Condensators Fig. 140 ist dasselbe, welches in unserer Figur mit *g* bezeichnet ist, während das mit *c* bezeichnete Messingsäulchen der Fig. 140 in Fig. 368 durch den Hammerapparat verdeckt ist. Das Säulchen *g* ist mit dem in den Unterbrecher *H* eintretenden, das in Fig. 368 nicht sichtbare Säulchen des Condensators ist mit dem aus dem Unterbrecher austretenden Zuleitungsdraht in leitende Verbindung gesetzt, so daß also der Extrastrom, welcher sich im Moment der Stromunterbrechung in der Hauptspirale bildet, gewissermaßen durch den Condensator aufgenommen wird.

Dadurch erklärt sich nun auch die Wirksamkeit des Condensators. Wenn im Augenblick der Stromunterbrechung keine Nebenschließung vorhanden ist, so ist der Verlauf des Extrastromes gehemmt; die mit Gewalt gegen die Unterbrechungsstelle hingetriebene Elektricität wird zwar theilweise durch das Ueberspringen eines glänzenderen Funkens entladen, der Rest aber muß in dem Hauptdraht selbst seine Ausgleichung suchen, er muß gewissermaßen in demselben zurückströmen und dadurch wird die inducirende Wirkung auf den Nebendraht bedeutend geschwächt.

Ist aber der Condensator eingeschaltet, so wird der Extrastrom durch denselben vollständig aufgenommen und es findet keine Rückströmung im Hauptdraht Statt. Ein Beweis für die Richtigkeit dieser Ansicht liegt darin, daß durch Einschaltung des Condensators die Funken an der Unterbrechungsstelle der Hammervorrichtung schwächer werden, und ferner, daß man mit gleichem Erfolge statt des Condensators auch einen langen und sehr dünnen Metalldraht einschalten kann.

Versuche mit dem Funkeninductor. Sobald man den Apparat 145
in Gang setzt, springen zwischen den Spitzen *s* und *t* lebhafte Funken über, wenn dieselben nicht allzuweit von einander abstehen. An dem Stöhrer'schen Apparate gelingt es noch Funken von 14 Linien Länge zu erhalten, wenn der Hauptstrom durch eine aus zwei großen Bunsen'schen Bechern gebildete Säule geliefert wird und wenn man die Feder des Hammerapparates möglichst stark spannt. Bei einem Abstande von 6 bis 8 Linien erhält man leicht zwischen den Spitzen *s* und *t* einen continuirlichen prasselnden Funkenstrom.

Werden die Spitzen *s* und *t* so weit von einander entfernt, daß keine

Funken mehr überspringen, so erscheinen an denselben kleine, jedoch nur im Dunkeln wahrnehmbare Lichtbüschel.

Wenn man den Finger einer beliebigen Stelle der Metallfassung nähert, in welcher die Polspitzen eingeschraubt sind, so schlagen stechende Fünkchen über, welche jedoch an demjenigen Pole weit kräftiger sind, welcher mit dem Drahtende der äußeren Windungen der Inductionsspirale in Verbindung steht.

Diese auf die Hand überspringenden Funken verursachen die heftigsten Erschütterungen, wenn die Elektricität des anderen Poles gehörig abgeleitet ist.

Läßt man solche Fünkchen auf ein Elektrometer überschlagen (während der andere Pol isolirt ist), so wird dasselbe geladen und zwar mit derjenigen Elektricität, welche der Richtung des Inductionsstromes im Moment der Unterbrechung des Hauptstromes entspricht.

Bringt man das Elektrometer mit einem der Pole des Funkeninductors in metallische Berührung, so erfolgt keine Ladung desselben, weil es nun abwechselnd mit der einen und dann wieder mit der anderen Elektricität geladen wird, da ja einem jeden Pole der Nebenspirale im Moment der Schließung des Hauptstromes eine andere Elektricität zuströmt als im Moment der Unterbrechung. Da aber der Inductionsstrom, welcher in der Nebenspirale im Moment der Oeffnung des Hauptstroms inducirt wird, bei weitem kräftiger ist als der im Moment der Schließung inducirte, so hat nur der Oeffnungsstrom Intensität genug, Funken in distans zu liefern und dadurch erklärt es sich, daß das Elektrometer mit einer bestimmten Elektricität geladen wird, wenn man Funken von den Polen der Inductionsspirale auf ihn überschlagen läßt, obgleich dieselbe alternirend in entgegengesetzter Richtung durchströmt wird.

Eine Leydner Flasche läßt sich in gleicher Weise wie ein Elektrometer am Funkeninductor laden.

Eine prachtvolle Erscheinung beobachtet man, wenn man den Strom des Funkeninductors durch den leeren Raum leitet. Mann kann zu diesem Versuche das bereits oben Seite 147 beschriebene elektrische Ei anwenden oder auch eine Glasglocke, welche mit einer Stopfbüchse versehen ist, durch welche ein unten eine Kugel tragender Stab hindurchgeht; bei Anwendung einer solchen Glocke wird dann in die centrale Oeffnung des Luftpumpentellers ein kurzes Stäbchen eingesteckt, welches die untere Kugel trägt, wie dies Fig. 2 auf Tab. I. zu sehen ist. Der Luftpumpenteller wird mit dem einen, die Fassung der Glocke mit dem anderen Pole des Funkeninductors in leitende Verbindung gebracht. Von den beiden Kugeln, zwischen welchen die Elektricität übergehen soll, muß jeder Firnißüberzug entfernt sein.

Wenn so weit ausgepumpt ist, daß die Barometerprobe bis auf 1, höchstens 2 Millimeter heruntergegangen ist und die positive Elektricität von der oberen Kugel zur unteren herabströmt, so beobachtet man die Erscheinung, wie sie Fig. 2, Tab. I. abgebildet ist. Die negative Kugel erscheint von einem tiefblauen Lichte eingehüllt, von der positiven Kugel aber strömt ein purpurrother Lichtschein aus, der beinahe bis zur negativen Kugel reicht und in welchem man eine schwarze Streifung wahrnimmt, welche besonders deutlich hervor-

tritt, wenn man vor dem Auspumpen einige Tropfen Alkohol, Aether oder Terpentinöl in den Recipienten gebracht hatte.

Diese Streifung beobachtet man selbst in dem Falle, daß die Lichterscheinung nur momentan durch eine einmalige Unterbrechung des Hauptstroms hervorgebracht wird.

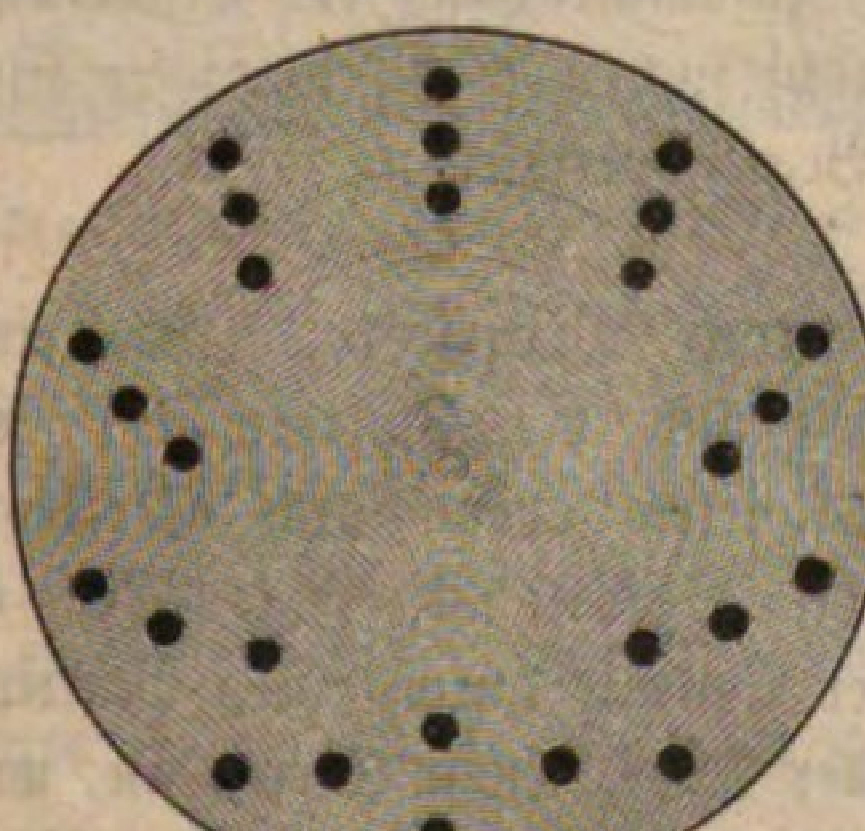
Selbst kleinere Inductionsapparate, z. B. der Fig. 356 abgebildete, reichen hin, um die eben beschriebene Lichterscheinung im leeren Raume, wenn auch weniger ausgezeichnet, hervorzubringen.

Das rothe Licht des positiven Poles ist von der blauen Hülle der negativen Kugel stets durch einen vollkommen dunkeln Zwischenraum getrennt.

Das eben beschriebene elektrische Licht ist durch einen bedeutenden Gehalt an violetten und ultravioletten Strahlen ausgezeichnet, weshalb es die Erscheinungen der Fluorescenz in ausgezeichneter Weise hervorzurufen im Stande ist.

Obgleich man auf den ersten Anblick glauben könnte, daß ein continuirlicher Lichtstrom von dem positiven Pole ausgesendet wird, so kann man sich doch leicht davon überzeugen, daß dies nicht der Fall ist. Die Lichterscheinung tritt stoßweise bei jeder Unterbrechung des Hauptstromes auf; bei der raschen Bewegung des Hammers folgen aber diese Lichtblitze so rasch auf einander, daß man sie nicht mehr als einzelne unterscheiden kann. Daß die Sache sich in der That so verhält, geht unter anderen auch daraus hervor, daß wenn man in der Nähe des durchströmten Recipienten irgend einen Gegenstand, etwa eine Hand, hin und her bewegt, man dieselbe vielfach zu sehen glaubt. Am schlagendsten hat es Poggendorff auf folgende Weise dargethan. Eine weiße Pappscheibe von ungefähr 8 Zoll Durchmesser, ist in drei concentrischen Kreisen mit schwarzen runden Flecken bemalt, wie es Fig. 369 zeigt. Der äußere Kreis enthält deren 10, der mittlere 9, der äußere 8. Dreht man nun die Scheibe mit langsam gesteigerter Schnelligkeit, so wird man bald dahin kommen, daß die Flecke des mittleren Kreises still zu stehen scheinen, während die des äußeren vorwärts, die des inneren rückwärts laufen. Diese Erscheinung muß offenbar eintreten, wenn die Scheibe während einer Vibration des Hammers gerade um 40° gedreht wird.

Fig. 369.



$\frac{1}{10}$

Auch für die Praxis hat der Funkeninductor bereits eine Bedeutung erlangt, indem er nämlich beim Anzünden von Minen ausgezeichnete Dienste leistet. Die oben Seite 236 beschriebene Methode, die Minen durch einen galvanisch glühenden Draht zu entzünden, läßt sich nicht mehr mit Erfolg anwenden, wenn es sich darum handelt, mehrere benachbarte Minen vollkommen gleichzeitig zu entzünden, weil man es nicht wohl dahin bringen kann, daß die dünnen Drähtchen in allen vollkommen gleich ausfallen.

So geschieht es denn, daß das Glühen des Drähtchens in einer Patrone einen etwas schwächeren Strom erfordert als in den anderen; diese Patrone wird zunächst entzündet, und wenn durch ihr Abbrennen die Leitung einmal unterbrochen ist, so bleiben die anderen in die gleiche Leitung eingeschalteten Minen unentzündet.

Läßt man dagegen durch eine Drahtleitung, in welcher mehrere Unterbrechungsstellen befindlich sind, eine elektrische Entladung durchschlagen, welche in Form von Funken durch die Lücken übergehen muß, so wird der Funken gleichzeitig an allen Unterbrechungsstellen auftreten; wenn es sich um gleichzeitiges Sprengen mehrerer Minen handelt, ist deshalb die Entzündung durch den elektrischen Funken der Entzündung durch den glühenden Draht vorzuziehen.

Daher kommt es, daß man versucht hat, die Reibungselektricität zum Sprengen zu verwenden. Die Wirksamkeit der Elektrisirmaschine ist aber zu sehr von der Witterung abhängig, die Isolirung der Leitungsdrähte ist zu schwierig, und erst der Funkeninductor hat es möglich gemacht, Minen mit Sicherheit durch den elektrischen Funken zu entzünden. — Da aber die directe Entzündung des Schießpulvers durch den elektrischen Funken immerhin schwierig ist (siehe Seite 127), so muß man die Unterbrechungsstellen, an welchen der Funken überspringen soll, mit einer leicht entzündlichen Masse ausfüllen, wozu Böttger ein Gemisch aus gleichen Theilen fein gepulvertem Schwefelantimon und chlorsaurem Kali vorschlägt, dessen Entzündung sich dann dem Pulver mittheilt.

Es lassen sich mit dem Funkeninductor noch eine Menge interessanter und unterhaltender Versuche anstellen, deren Beschreibung uns hier zu weit führen würde. Man findet eine vollständige Zusammenstellung derselben in einem auch ins Deutsche übersetzten (Ruhmkorff's Inductionsapparat und die damit anzustellenden Versuche, Frankfurt a. M. 1857) Werkchen von Du Moncel. Eine Aufklärung über den theoretischen Zusammenhang der Erscheinungen darf übrigens der Leser in diesem Büchlein nicht suchen, denn in dieser Hinsicht leidet dasselbe an einer nicht unbedeutenden Begriffsverwirrung.

146 **Induction elektrischer Ströme durch Magnete.** Bei einigen der in §. 137 besprochenen Versuche läßt sich die Spirale *B*, welche den Hauptstrom leitet, durch einen Stahlmagneten oder durch Elektromagneten ersetzen. Schiebt man z. B. in die Spirale *A*, Fig. 370, einen Magnetstab *NS* ein, während die Enden der Spirale durch einen Multiplicator verbunden sind, so zeigt die Ablenkung der Nadel einen Strom an, welcher denjenigen entgegengesetzt ist, welche nach Ampère's Theorie die Moleküle des genäherten Magneten umkreisen. Bleibt der Magnet ruhig in der Spirale, so kehrt die Nadel nach einigen Schwingungen wieder zu ihrer ursprünglichen Gleichgewichtslage zurück, um einen abermaligen aber entgegengesetzten Ausschlag zu machen, wenn der Magnet wieder aus der Hülse herausgezogen wird.

Bei diesem Versuche wird eine Wirkung auf die geschlossenen Drahtwindungen durch die Annäherung oder die Entfernung des Magneten hervorgebracht; dieselbe Wirkung kann aber auch noch auf eine andere Weise hervorge-

bracht werden, nämlich dadurch, daß ein in der Spirale steckender Eisenstab abwechselnd magnetisch gemacht wird und dann wieder seinen Magnetismus verliert. Dies läßt sich auf folgende Weise zeigen.

Fig. 370.

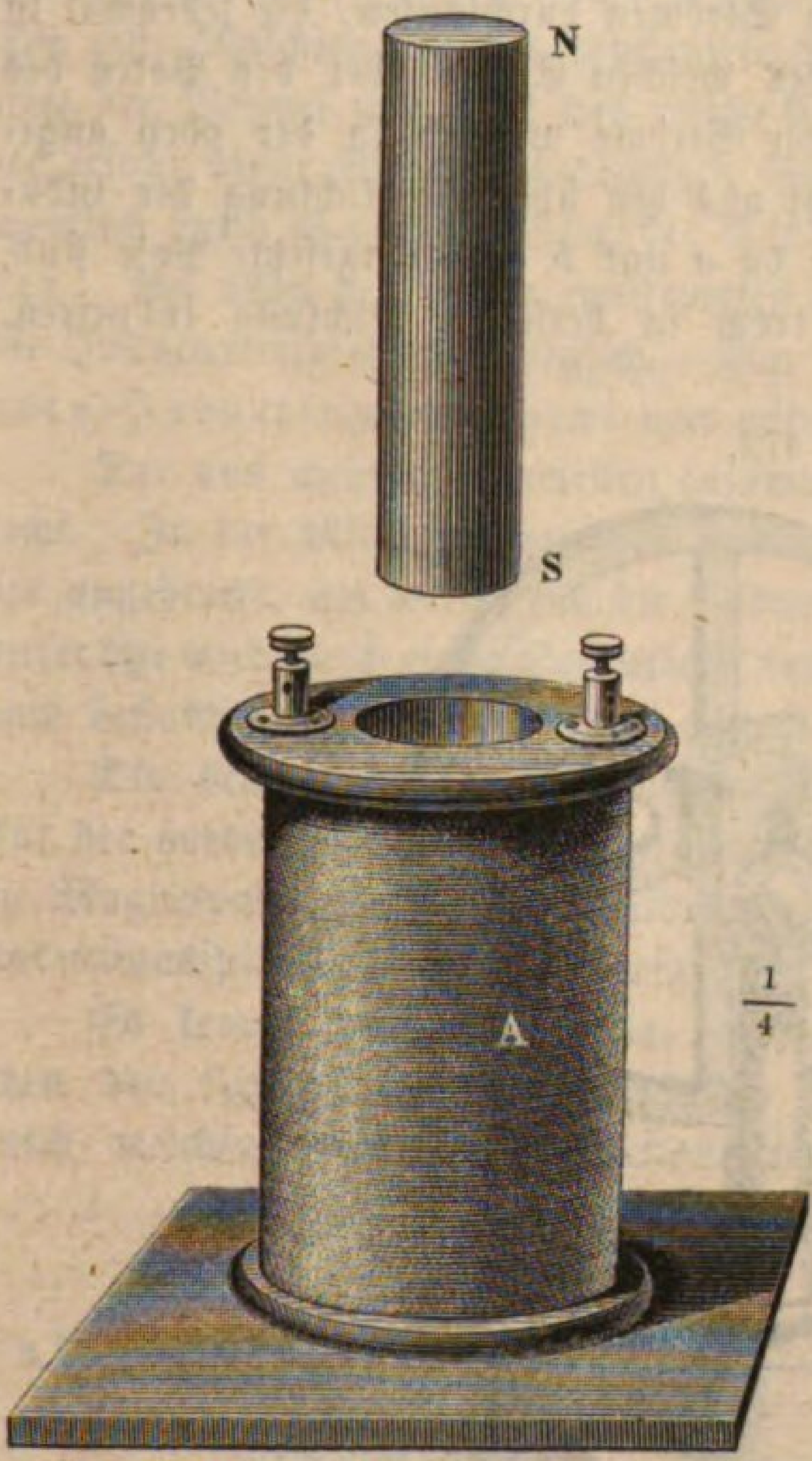
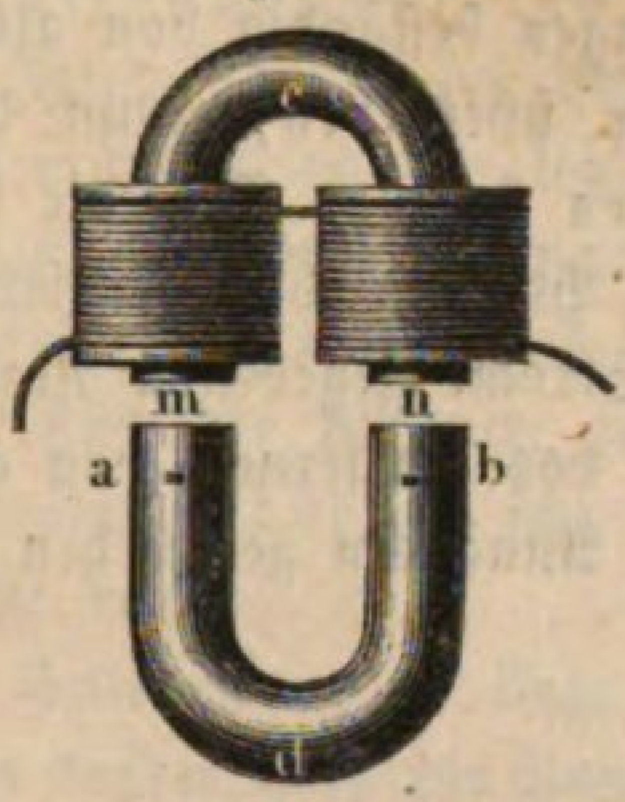


Fig. 371.

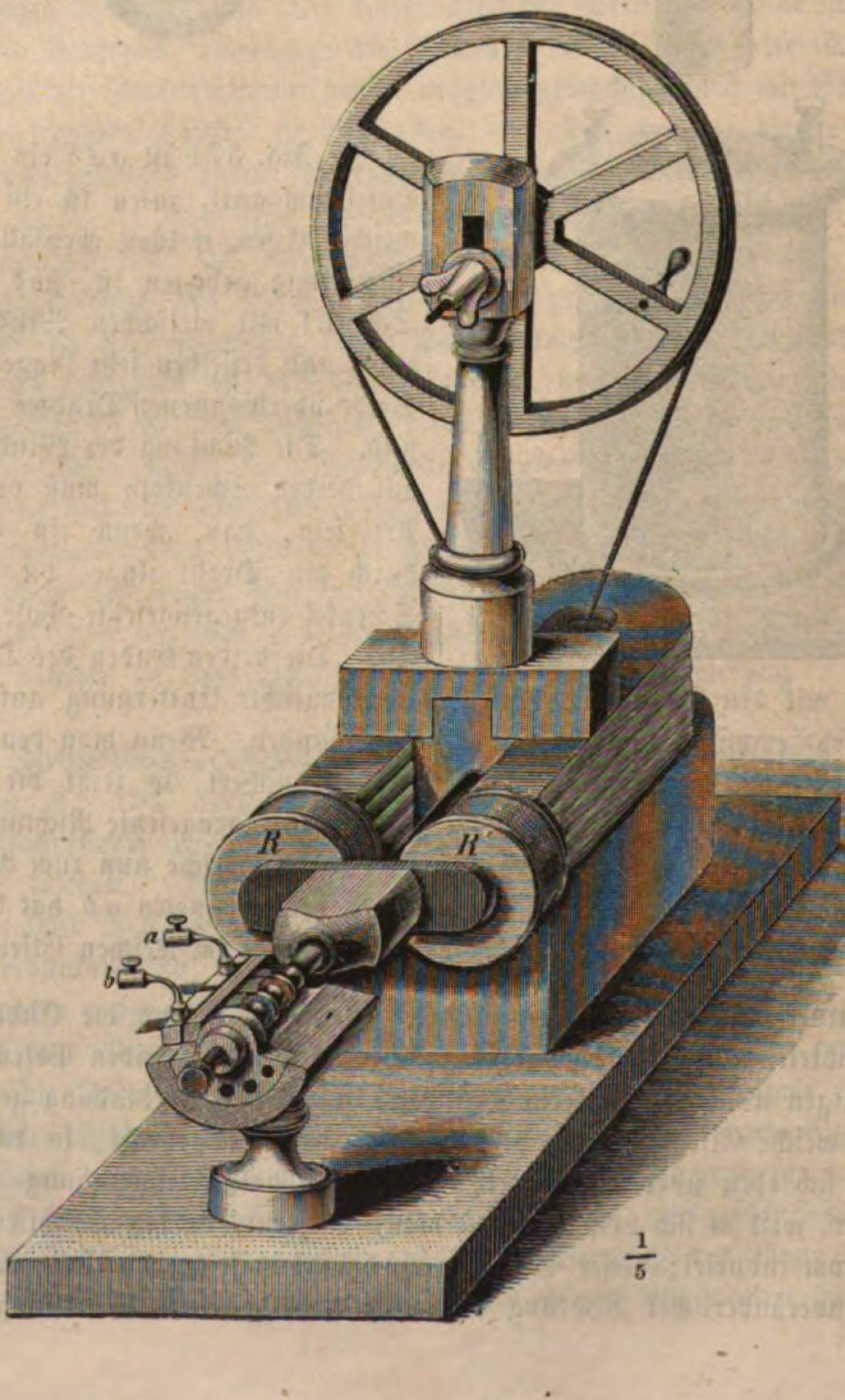


In Fig. 371 ist *adb* ein starker Hufeisenmagnet, *mcn* ist ein Stück weiches Eisen, welches ebenfalls hufeisenförmig gebogen ist, und dessen Schenkel mit vielfachen Windungen eines und desselben sehr langen, mit Seide übersponnenen Drahtes bedeckt sind. Die Richtung der Windungen auf beiden Schenkeln muß von der Art sein, daß, wenn ein Strom durch den Draht ginge, die beiden Schenkel entgegengesetzte Pole bilden. Die beiden Enden des Drahtes werden nun mit den Drahtenden eines in hinlänglicher Entfernung aufgestellten, nicht sehr empfindlichen Multiplicators verbunden. Wenn man den Magneten *ab* rasch den Schenkeln des Eisenkerns *mn* nähert, so zeigt die Nadel des Multiplicators einen Strom an, welcher die entgegengesetzte Richtung von dem hat, welcher nach der Ampère'schen Theorie das weiche nun zum Magneten gewordene Eisen umkreist. Beim Entfernen des Magneten *ab* hat der inducirte Strom gleiche Richtung wie der nun aufhörende im weichen Eisen.

Magneto-Inductionsmaschine. Denken wir uns die Enden der 147
soeben betrachteten Inductionsspiralen, welche sich an den beiden Polen eines hufeisenförmigen weichen Eisenkerns befinden, in leitende Verbindung gebracht, dann dieses weiche Eisen um eine verticale Axe rasch umgedreht, so daß der Pol *m*, der sich eben über *a* befindet, nach einer halben Umdrehung über *b* steht, so wird, weil *m* sich von *a* und *n* von *b* entfernt, in den Drahtwindungen ein Strom inducirt; dieser Strom nun dauert mit veränderlicher Stärke, aber mit unveränderlicher Richtung während einer halben Umdrehung fort,

nämlich während *m* von *a* bis *b* und *n* von *b* bis *a* gedreht wird; sobald aber die zweite halbe Umdrehung beginnt, ändert sich die Richtung des Stromes, um nach Vollendung einer ganzen Umdrehung abermals zu wechseln; wenn also das weiche Eisen mit seinen Drahtwindungen rasch rotirt, so werden diese Windungen beständig von alternirenden Strömen durchlaufen, die jedesmal in einander übergehen, wenn die Pole des weichen Eisens über den Polen des Magneten stehen. Daß die Richtung der Ströme wirklich in der oben angegebenen Weise wechselt, ergiebt sich leicht aus den über die Richtung der inducirten Ströme gegebenen Regeln, denn da *a* und *b* entgegengesetzte Pole sind, so muß das Entfernen von *a* einen Strom in derselben Richtung induciren, wie ein Annähern gegen den Pol *b*.

Fig. 372.



Um auf bequeme Weise mit den durch Magnete inducirten Strömen Versuche anstellen zu können, hat man nach dem eben angedeuteten Principe besondere Maschinen construirt, welche den Namen der magneto-elektrischen Rotationsmaschine oder des Magneto-Inductionsapparates führen. Die erste Maschine der Art construirte Pixii im Jahre 1832; bei dieser rotirte der Magnet und nicht das weiche Eisen mit den Inductionsspiralen. Später erfuhr dieser Apparat bedeutende Veränderungen und Verbesserungen, namentlich durch Saxton, Clarke, Ettingshausen, Petrina und Stöhrer. Bei allen den später construirten Maschinen sind die Magnete fest und die Inductionsspiralen beweglich. Fig. 372 stellt eine Stöhrer'sche Magneto-Inductionsmaschine von mittlerer Größe dar.

Der aus mehreren Lamellen zusammengesetzte Hufeisenmagnet liegt wagerecht. In der Mitte zwischen den beiden Schenkeln desselben ist die Rotationsaxe angebracht, um welche sich die Inductionsspiralen drehen. Die Umdrehung dieser Axe wird durch einen Schnurlauf bewirkt, welcher von einer größeren oberhalb befindlichen Drehscheibe über eine kleinere auf der Axe sitzende Rolle geht.

Die beiden Enden dieser eisernen Umdrehungsaxe laufen in Spitzen. Auf der vorderen Hälfte derselben ist eine eiserne Platte befestigt, welche, gegen die Magnetpole gekehrt, zwei Cylinder von weichem Eisen trägt, auf denen die Inductionsspiralen *R* und *R'* aufgesteckt sind.

Es kommt nun darauf an, während der Rotation der Spiralen zwischen den freien Drahtenden derselben stets denjenigen Körper einzuschalten, durch welchen man die Inductionsströme hindurchsenden will; dies wird

Fig. 373.

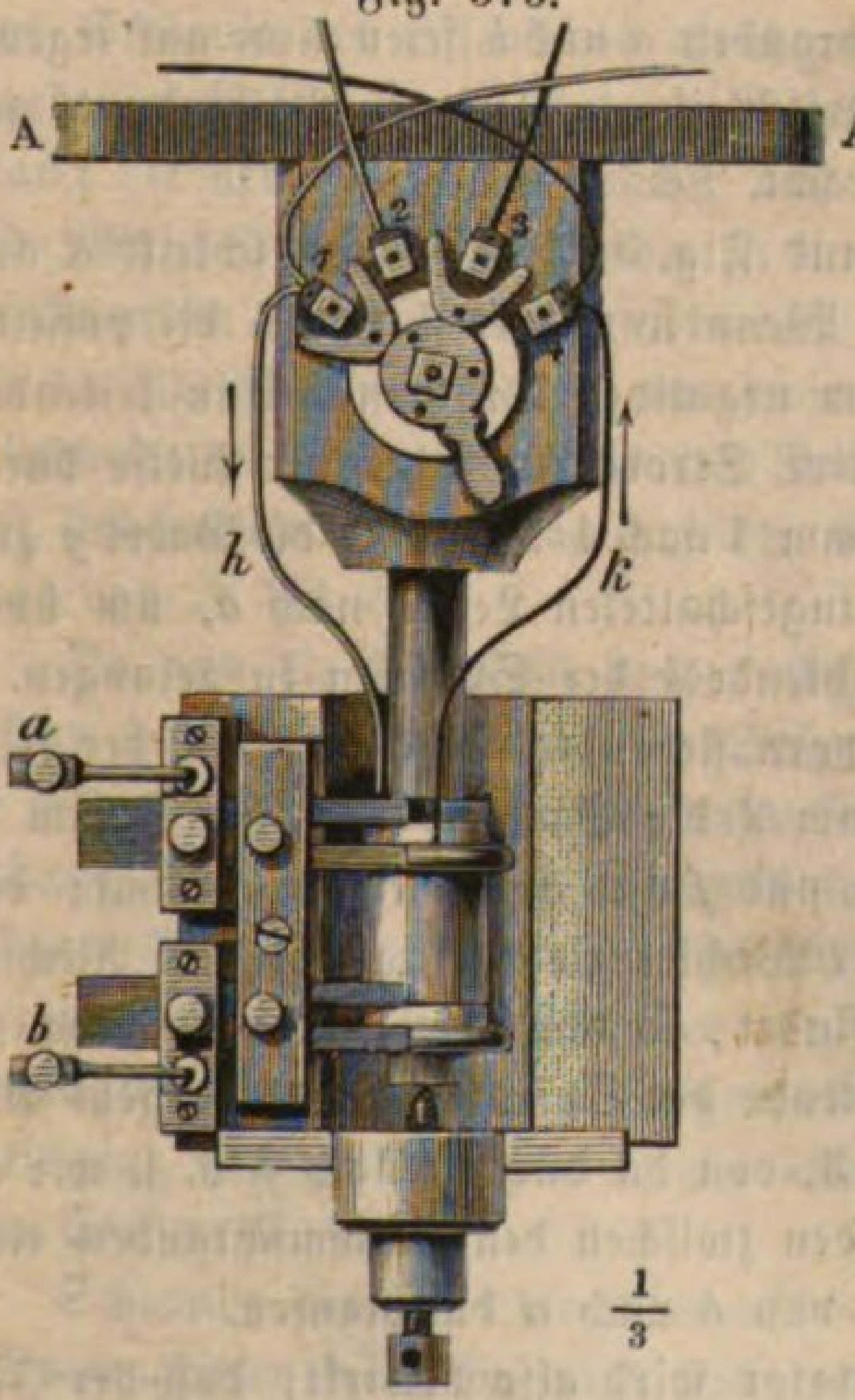


Fig. 374.

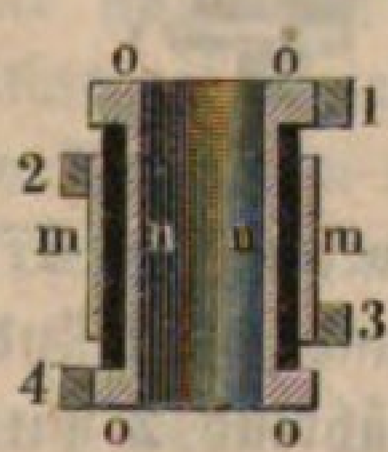
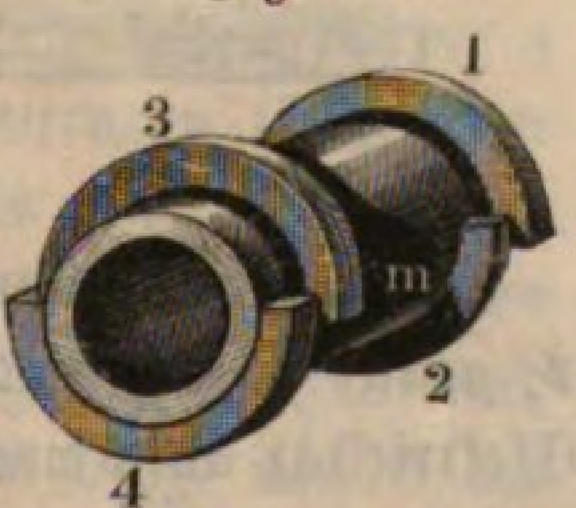


Fig. 375.



nun durch eine Vorrichtung vermittelt, welche man den Commutator nennt und welche an dem vorderen Theile der Rotationsaxe befestigt ist. Der Stöhrer'sche Commutator ist in Fig. 374 im Durchschnitt, Fig. 375 in perspectivischer Ansicht dargestellt; Fig. 373 zeigt, wie er auf der Axe befestigt ist und wie von ihm aus der Strom in den einzuschaltenden Körper geleitet wird.

Die Kämme sind nicht so scharfkantig wie Fig. 375, sondern abgerundet, wie Fig. 373 und 376 zeigt.

An den beiden Enden des Messingrohres *m* sind zwei Stahlkämme 2 und 3 so aufgelöthet, daß sie sich genau gegenüberliegen und die Enden derselben sich etwas überragen. Innerhalb des Rohres *m*, von demselben durch ein dünnes Buchsbaumrohr getrennt, befindet sich ein zweites Messingrohr *n*, welches an beiden Enden etwas vorragt. Die Vorsprünge tragen zwei mit dem Rohre *n* aus einem Stück gedrehte Ringe *o* von gleichem Durchmesser mit der Höhlung des Rohres *m*; auf diese Ringe sind die Stahlkämme 1 und 4 den Stahlkämmen 3 und 2 correspondirend aufgelöthet, wie man dies am deutlichsten in Fig. 375 sieht.

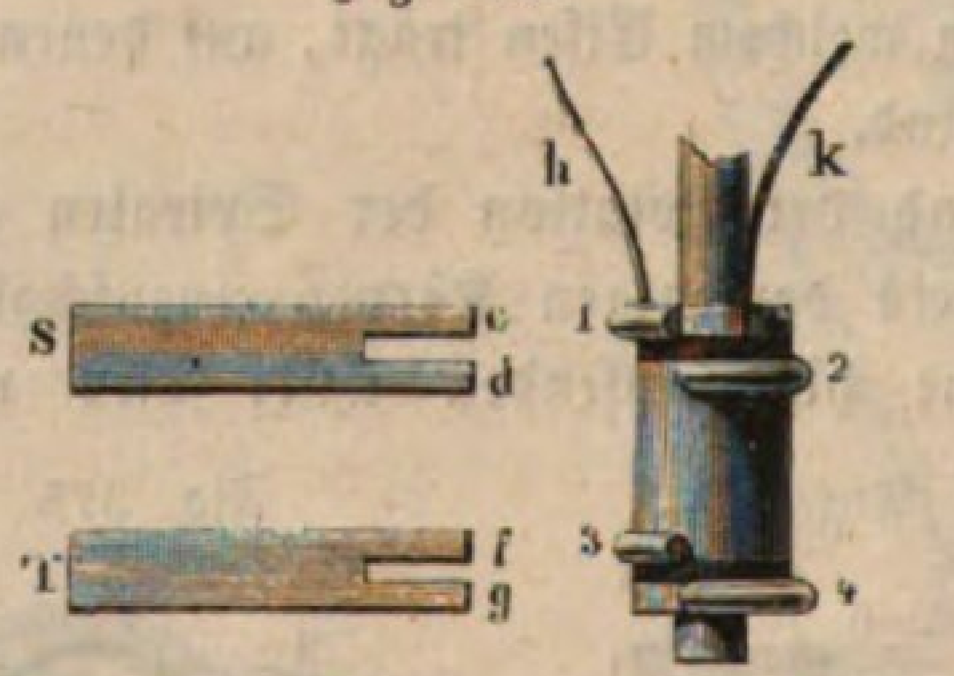
Dieses ganze System ist auf der Umdrehungsaxe befestigt.

Das eine Drahtende *k*, Fig. 373, der Spiralen führt zum Kamm 2, das andere Drahtende *h* führt zum Kamm 1.

Zwei flache dünne Stahlfedern sind an dem Gestelle der Maschine so angebracht, daß ihre vorderen geschlitzten Enden von oben auf die Stahlkämme drücken; sie können nach Belieben mittelst einer Schraube mehr oder weniger gespannt werden.

Der leichteren Uebersicht wegen sind in Fig. 376 die beiden Federn etwas von der Walze abgerückt gezeichnet. Die Feder *S* theilt sich in die Gabeln *c* und *d*; die Feder *T* theilt sich in die Federn *f* und *g*.

Fig. 376.



Mit der Feder *S* ist die Klemmschraube *a*, Fig. 373, mit *T* ist *b* in leitender Verbindung. Die Klemmschrauben *a* und *b* seien nun auf irgend eine Weise in leitende Verbindung gebracht.

In der Stellung, welche Fig. 376 und Fig. 373 entspricht, schleift *d* auf 2, *g* auf 4, während *c* und *f* frei sind. Wenn nun aber 1 von *h* die positive Elektricität aufnimmt, während 2 mit dem negativen Drahtende *k* in leitender Verbindung steht, so circulirt der positive Strom in folgender Weise durch den Apparat: von *h* geht er durch den Kamm 1 nach 4 und über die Gabel *g* zur Klemmschraube *b*, von dieser durch den eingeschalteten Leiter nach *a*, um über *d* und den Kamm 2 zum negativen Drahtende *k* der Spiralen zu gelangen.

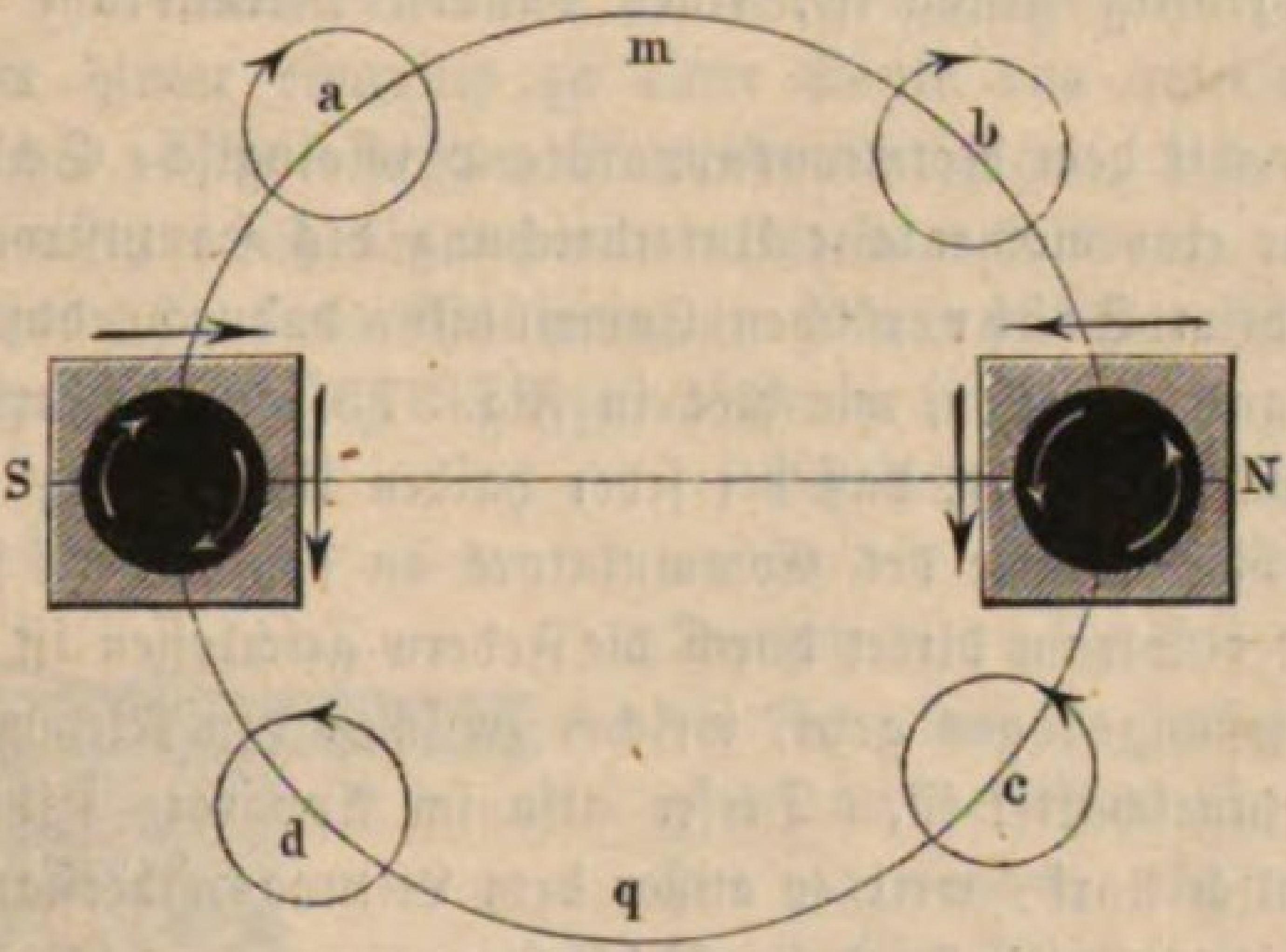
Dreht sich nun die Axe für einen vorn stehenden Beschauer wie der Zeiger einer Uhr, so wird alsbald der Kamm 2 die Gabel *d* und der Kamm 4 die Gabel *g* verlassen, während *c* auf 1 und *f* auf 3 zu liegen kommt; der Commutator ist nun so gestellt, daß dieser Wechsel gleichzeitig mit dem Wechsel der Stromrichtung in den Spiralen stattfindet, so daß also in diesem Moment *k* das positive und *h* das negative Drahtende der Spiralen wird; es geht also der positive Strom jetzt von *k* auf 2 und 3, von da durch *f* nach *b* u. s. w.; es wird also auch jetzt der positive Strom den zwischen den Klemmschrauben eingeschalteten Körper noch in der Richtung von *b* nach *a* durchlaufen.

Durch den Stöhrer'schen Commutator wird also bewirkt, daß der In-

ductionsstrom durch den zwischen *a* und *b* eingeschalteten Körper stets in gleicher Richtung hindurchgeht, obgleich die Stromrichtung in den Spiralen mit jeder halben Umdrehung sich ändert.

Wenn einer der rotirenden Eisenkerne gerade vor dem Südpol *S*, Fig. 377, des Stahlmagneten sich befindet, so werden die Ampère'schen Ströme den

Fig. 377.



Eisenkern in der durch die Pfeilchen angedeuteten Richtung, also wie der Zeiger einer Uhr, umkreisen. Die dadurch hervorgebrachte Polarität des Eisenkerns nimmt allmälig ab, während derselbe sich von *S* bis *m* bewegt, und dieser verschwindende Magnetismus des Eisenkerns ruft in den ihn umgebenden Drahtwindungen Inductionsströme hervor, welche mit den verschwindenden Ampère'schen Strömen des Eisenkerns gleichgerichtet sind, also Ströme, wie sie bei *a* angedeutet sind. In *m* findet ein Polaritätswechsel im rotirenden Einsenkern Statt; die neue Polarität wächst auf dem Wege von *m* bis *N*; dieser wachsende Magnetismus erzeugt aber in der Spirale Inductionsströme, welche den zunehmenden Ampère'schen Strömen des Eisenkerns entgegengesetzt sind, und also dieselbe Richtung haben, wie diejenigen, welche auf dem Wege von *S* bis *m* inducirt werden. Während der Rotation von *S* bis *N* bleibt also die Richtung der inducirten Ströme dieselbe, sie ist aber die entgegengesetzte auf dem Wege von *N* bis *S*.

Da nun die Polarität in den Eisenkernen allmälig ab- und zunimmt, so ist klar, daß sich auch die in den Spiralen inducirten Ströme nicht so momentan bilden, daß sie langsamer verlaufen, als die durch eine plötzliche Unterbrechung eines galvanischen Stromes inducirten. Diese Ströme, welche während der Rotation der Spiralen beständig, wenngleich mit veränderlicher Stärke den zwischen den Klemmschrauben *a* und *b*, Fig. 372, eingeschalteten Körper durchlaufen, sind also wenig geeignet, kräftige physiologische Wirkungen hervorzubringen; dagegen bringen sie alle anderen Effecte der gewöhnlichen galvanischen Ströme hervor.

Schraubt man in die Klemmschrauben *a* und *b* die Drahtenden eines Elektromagneten ein, so wird dieser durch die Inductionsströme erregt; die

Nadel einer zwischen *a* und *b* eingeschalteten Tangentenbussole zeigt, da die Ströme stets in gleicher Richtung dieselbe durchlaufen, bei einigermaßen schneller Drehung eine constante Ablenkung. In einem zwischen *a* und *b* eingeschalteten Voltameter findet Wasserzersetzung Statt, und zwar wird das Sauerstoffgas stets an der einen, das Wasserstoffgas stets an der anderen Platte ausgeschieden. Der Strom einer magneto-elektrischen Rotationsmaschine kann, wenn derselbe kräftig genug ist, einen dünnen Metalldraht glühend machen u. s. w.

Will man mit dem Rotationsapparate physiologische Schläge hervorbringen, so muß für eine momentane Unterbrechung des Hauptstromes gesorgt sein. Dies geschieht beim Stöhrer'schen Commutator dadurch, daß die Kämme ein wenig über einander greifen, wie dies in Fig. 375 etwas übertrieben gezeichnet ist. Dadurch wird bewirkt, daß bei jeder halben Umdrehung einmal auf ganz kurze Zeit alle vier Kämme des Commutators an den Federn schleifen, so daß für diese Zeit der Strom direct durch die Federn geschlossen ist und kein Strom durch den Schließungsbogen geht, welcher zwischen den Klemmschrauben *a* und *b*, Fig. 373, eingeschaltet ist. Dieser also im Apparate selbst zurückkehrende Strom ist ziemlich stark, weil er außer dem Leitungswiderstande in den Spiralen keinen Leitungswiderstand im Schließungsbogen zu überwinden hat, und in dem Augenblicke, wo nun zwei Kämme ihre Federn verlassen, wo also dieser directe Strom unterbrochen wird, entsteht in Folge dieser Stromunterbrechung in den Spiralen ein Extrastrom, welcher in dem zwischen *a* und *b* mittelst Handgriffen eingeschalteten menschlichen Körper einen heftigen Schlag hervorbringt. Diesen Schlag erhält also der Körper zweimal bei jeder Umdrehung der Rotationsaxe.

Die Unterbrechung des im Apparate selbst zurückkehrenden Stromes giebt sich auch durch einen kräftigen an der Unterbrechungsstelle auftretenden Funken zu erkennen.

Der Commutator ist so gestellt, daß zwei Kämme immer in demselben Momente die Federn verlassen, in welchem die Eisenkerne gleichsam von den Polen des Elektromagneten abreißen.

Die Einrichtung der Spiralen ist verschieden, je nachdem man verschiedene Wirkungen damit hervorbringen will. Ist im Schließungsbogen ein großer Leitungswiderstand zu überwinden, so müssen die Spiralen aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes gebildet sein; dies ist z. B. der Fall bei Inductoren, welche dienen sollen, um starke physiologische Effecte zu geben. Mit solchen dünndrahtigen Inductoren bringt man aber einen dünnen Metalldraht, welcher in dem Schließungsbogen eingeschaltet ist, nicht ins Glühen; dazu ist ein Strom von größerer Quantität nöthig, wie er erhalten wird, wenn die Spirale aus wenigen Windungen eines dickeren Drahtes gebildet ist.

Je nachdem ein Inductor aus dünnem oder dickem Draht gebildet ist, nennt man ihn einen Intensitätsinductor oder einen Quantitätsinductor.

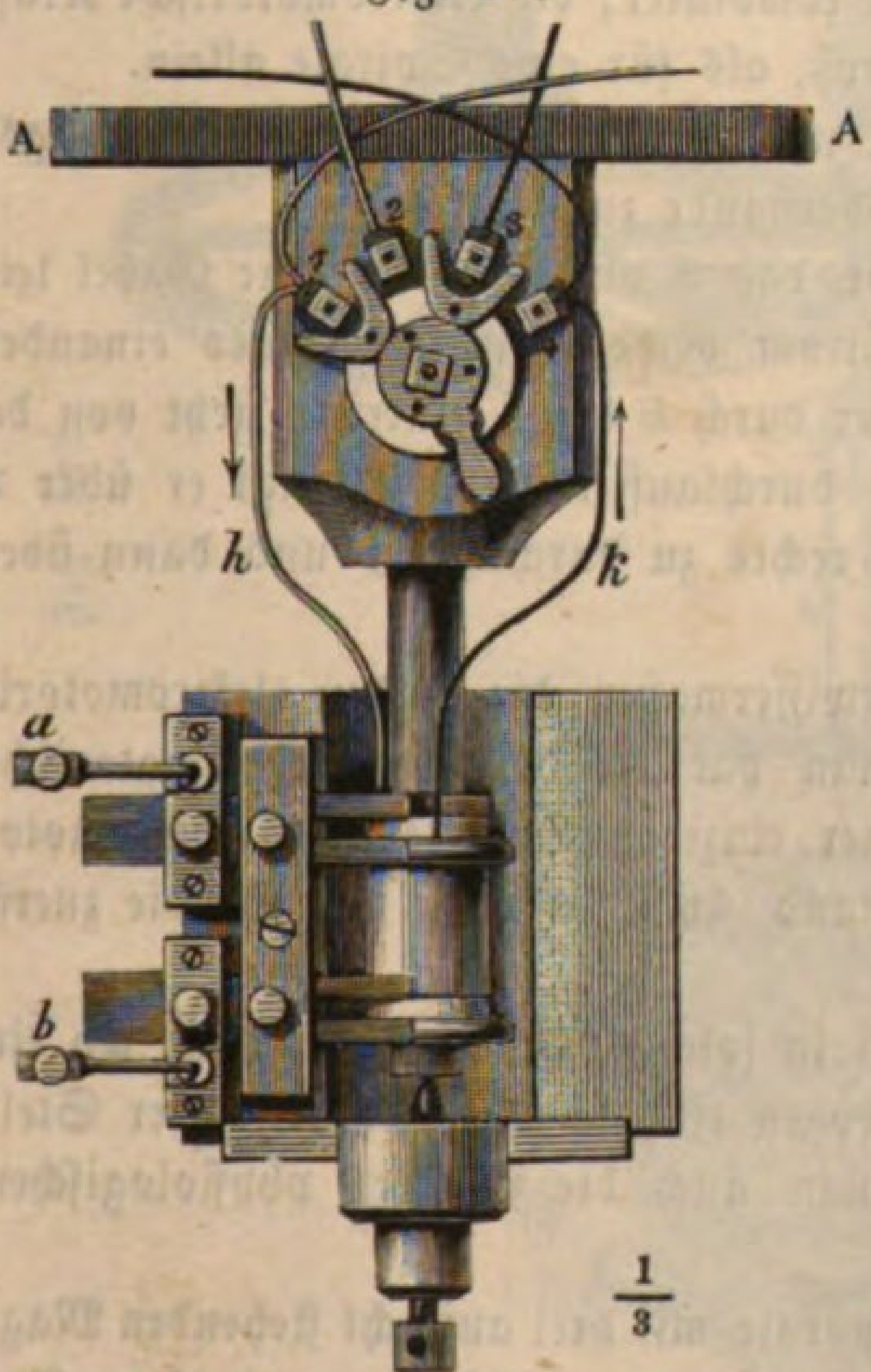
Bei manchen Maschinen ist die Einrichtung getroffen, daß man nach Be-

lieben einen Quantitäts- oder einen Intensitätsinductor einsetzen kann. Denselben Zweck, welchen man durch Vertauschung der Inductoren erreicht, kann man auch durch eine Vorrichtung erreichen, welche erlaubt, die beiden Spiralen auf verschiedene Weise zu combiniren. Eine solche Vorrichtung führt den Namen **Pachytrop**. Betrachten wir denselben etwas näher.

Jede der beiden rotirenden Spiralen bildet für sich einen Elektromotor, man kann also die beiden Spiralen in gleicher Weise wie zwei **Volta**'sche Becher gleichsam hinter einander zu einer Säule von zwei Elementen, oder neben einander zu einem einzigen Elemente vereinigen, dessen Leitungswiderstand nur halb so groß ist, als der einer einzelnen Spirale.

Der Pachytrop, welchen **Stöhrer** an seinen mittelgroßen Maschinen anbringt, hat folgende aus Fig. 378 zu ersehende Einrichtung.

Fig. 378.



Es stellt AA die eiserne Platte dar, welche die eisernen Kerne der beiden Drahtrollen trägt und durch deren Mitte die Rotationsaxe des ganzen Apparates geht; an derselben ist, dem Commutator zugewendet, ein auf zwei Seiten abgeflachtes Stück Holz befestigt, welches auf der einen Seite die fragliche Vorrichtung trägt.

Auf der Holzfläche sind zunächst vier Kupferplättchen befestigt, welche in Fig. 378 mit 1, 2, 3 und 4 bezeichnet sind. An 1 und 2 sind die gleichnamigen Drahtenden der beiden Drahtspiralen befestigt, die beiden anderen Drahtenden bei 3 und 4. Nehmen wir z. B. an, das von der Spirale rechts kommende Drahtende, welches bei 1 befestigt ist, sei für einen bestimmten Moment positiv, so ist dasjenige Drahtende der linken Spirale, welches gleichzeitig positiv ist, in 2 befestigt. — Das bei 4 befestigte Drahtende führt zur linken, das bei 3 befestigte Drahtende führt zur rechten Spirale; diese beiden sind in dem eben besprochenen Momente negativ.

Von 1 führt ein Kupferdraht zum ersten, von 4 ein anderer zum zweiten halbkreisförmigen Kamme des Commutators.

Die vier Kupferstückchen 1, 2, 3 und 4 liegen auf dem Umfange eines Kreises, in dessen Mittelpunkt eine um denselben drehbare Elfenbeinscheibe befestigt ist; diese trägt zwei von einander isolirte Gabeln von Kupfer, welche in unserer Figur in solcher Stellung gezeichnet sind, daß ihre Arme nicht auf die Kupferstückchen fallen. Bei solcher Stellung sind die Spiralen gar nicht ge-

schlossen; bei der Umdrehung der Rotationsaxe kann man also auch keinerlei Stromwirkung erhalten.

Nun aber werde die Elfenbeinscheibe so gedreht, daß 1 und 2 durch die eine, 3 und 4 durch die andere Gabel verbunden sind. Der positive Strom der Spirale rechts kommt jetzt direct nach 1, der positive Strom der Spirale links kommt über 2 durch die Gabel gleichfalls nach 1, der Draht *h* führt also die positiven Ströme beider Spiralen dem ersten Kamme des Commutators zu, während er nachher durch den Draht *k* nach 4 gelangt, um sich hier zu theilen, indem er von 4 direct zur linken und durch die zweite Gabel über 3 zur rechten Spirale gelangt. Der Strom, welcher den Schließungsbogen zwischen *a* und *b* durchläuft, geht also zur Hälfte durch die eine, zur Hälfte durch die andere Spirale.

Betrachtet man jede Spirale als einen Elektromotor, so sind hier gleichsam die beiden Elektromotoren neben einander combinirt; die elektromotorische Kraft ist dieselbe, der Widerstand ist halb so groß, als für eine Spirale allein.

Diese Combination ist anzuwenden, um stärkere Ströme im Schließungsbogen von verhältnißmäßig geringem Widerstande zu erhalten.

Wird die Elfenbeinscheibe so gedreht, daß 2 und 3 durch eine Gabel leitend verbunden werden, so muß der Strom beide Spiralen hinter einander durchlaufen. Der positive Strom, welcher durch *k* bei 4 eintritt, geht von da in die Spirale links; nachdem er diese durchlaufen hat, gelangt er über 2 durch die Gabel nach 3, um die Spirale rechts zu durchlaufen und dann über 1 und *h* zum Commutator zu gelangen.

Für diese Combination sind also gewissermaßen die beiden elektromotorischen Elemente zur Säule verbunden, man hat die doppelte elektromotorische Kraft und den doppelten Widerstand einer einzigen Spirale, die elektromotorische Kraft ist also doppelt, der Widerstand 4mal so groß als für die zuerst genannte Combination.

Diese Combination der Spiralen ist in solchen Fällen zu wählen, wo ein größerer Widerstand in den Schließungsbogen eingeschaltet ist; bei dieser Stellung der elfenbeinernen Scheibe erhält man auch die stärksten physiologischen Wirkungen.

Stöhrer hat größere Rotationsapparate mit drei aufrecht stehenden Magneten und sechs Inductionsrollen construirt, welche gleichfalls durch einen Pachytrop, welcher aber natürlich complicirter ist, auf verschiedene Weise combinirt werden können.

Der schon oben beschriebene Apparat Fig. 379 kann auch zur Hervorbringung von Inductionsströmen gebraucht werden. Zu diesem Zwecke stellt man

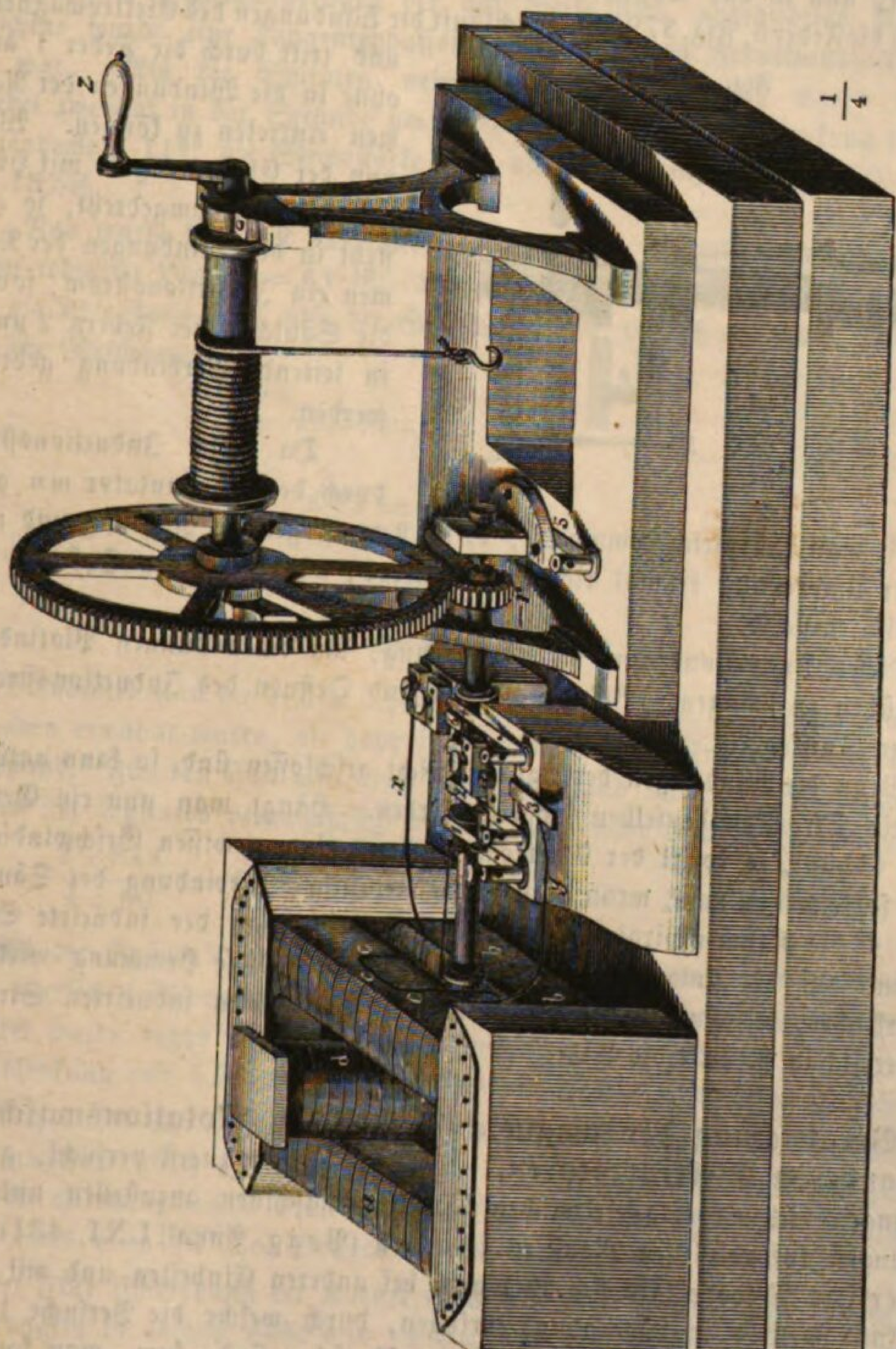
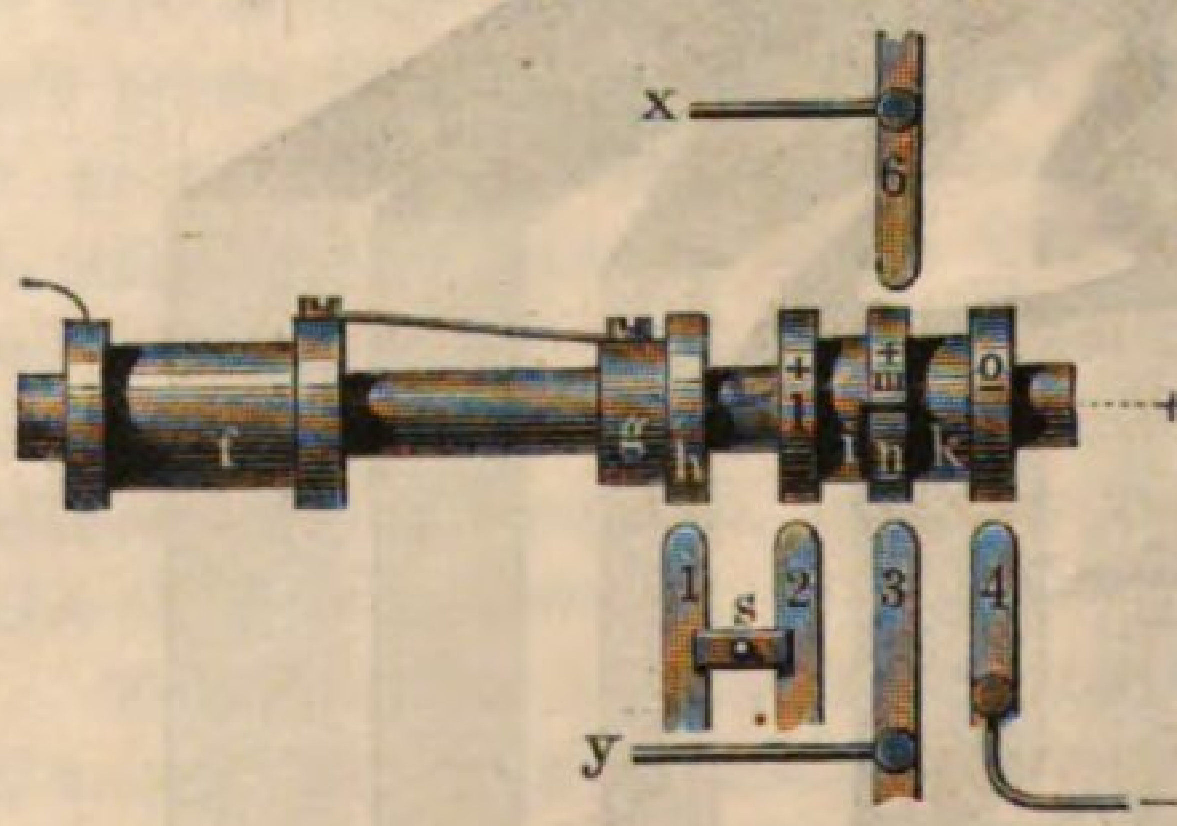


Fig 379.

nur den Verbindungsbügel *s*, Fig. 380, parallel mit den Federn 1 und 2, so daß keine metallische Verbindung zwischen 1 und 2 besteht; der negative Poldraht wird nun in das Säulchen der Feder 1 eingeschraubt. Der Strom tritt jetzt durch die Feder 5, Fig. 379, ein, durchläuft die Windungen des Elektromagneten und tritt durch die Feder 1 aus, ohne in die Windungen der Rahmen eintreten zu können. Wird nun der Elektromagnet mit Hülfe der Kurbel *z* umgedreht, so entsteht in den Windungen der Rahmen ein Inductionsstrom, sobald die Säulchen der Federn 2 und 4 in leitende Verbindung gebracht werden.

Fig. 380.



Da dieser Inductionsstrom durch den Commutator *mn* geht, so erhält man ihn gleich commutirt, d. h. stets in gleicher Richtung und nicht bei jeder Umdrehung einmal richtungswechselnd, wie er in den Spiralen ursprünglich entstand.

Dieser Inductionsstrom ist stark genug, um einen dünnen Platindraht ins Glühen zu bringen. Beim Schließen und Oeffnen des Inductionsstromes entstehen Funken.

Wenn die Windungen der Rahmen nicht geschlossen sind, so kann natürlich auch kein Strom in denselben inducirt werden. Hängt man nun ein Gewicht an die Schnur, so rotirt der Elektromagnet mit einer gewissen Geschwindigkeit, welche sogleich abnimmt, wenn man durch metallische Verbindung der Säulchen 2 und 4 die Rahmenspirale schließt, ein Beweis, daß der inducirte Strom hemmend auf die Rotation des Magneten wirkt. Diese Hemmung wird um so merklicher, je schneller die Rotation ist. Von diesen inducirten Strömen war bereits in §. 120 die Rede.

148 **Vergleichung der magneto-elektrischen Rotationsmaschinen mit anderen Elektromotoren.** Weber hat es zuerst versucht, genaue Messungen mit magneto-elektrischen Rotationsmaschinen anzustellen und ihre Wirkungen auf absolutes Maaß zu reduciren (Pogg. Annal. LXI, 431). Die Weber'sche Methode läßt sich aber auch bei anderen Einheiten und mit anderen Instrumenten in Anwendung bringen, durch welche die Versuche leichter anzustellen und die Resultate leichter zu übersehen sind; kurz, man kann die Constanten, von welchen die Stärke des Stromes einer magneto-elektrischen Rotationsmaschine abhängt, in derselben Weise bestimmen, wie die Constanten eines Volta'schen Elementes, vorausgesetzt, daß der Strom im Schließungsbogen stets gleiche Richtung hat. Weber leitete den Strom der Rotationsmaschine durch eine Drahtrolle und beobachtete, welche Ablenkung dieselbe an einem Magnetometer hervorbrachte. Wenn es nicht auf die äußerste Genauig-

keit ankommt, so kann man auch statt dieser Drahtrolle und statt des Magnetometers eine gewöhnliche Tangentenbussole in Anwendung bringen.

In den Schließungsbogen der auf Seite 396 abgebildeten Rotationsmaschine wurde eine Tangentenbussole gebracht, deren Reductionsfactor gleich 70 war. Als die Spiralen neben einander combinirt waren und die Kurbel zweimal in der Secunde umgedreht wurde, war die Ablenkung der Tangentenbussole 11°; die Stromstärke war also $70 \,.\, \textit{tang}.\ 11^0 = 70 \,.\, 0{,}194 = 13{,}58$.

Nun wurde bei sonst unveränderten Umständen ein Eisendraht eingeschaltet, dessen reducirte Länge $= 61$ ist. Bei gleicher Umdrehungsgeschwindigkeit war jetzt die Ablenkung $5{,}5^0$, also die Stromstärke $70 \,.\, 0{,}096 = 6{,}72$; wir haben also die Gleichungen

$$13{,}58 = \frac{E}{R},$$

$$6{,}72 = \frac{E}{R + 61},$$

woraus sich ergiebt

$$R = 60,$$
$$E = 814.$$

Combinirt man die beiden Spiralen hinter einander, so hat man, wie bereits oben erwähnt wurde, die doppelte elektromotorische Kraft und den 4fachen Widerstand. Für den Fall also, daß der Widerstand im Schließungsbogen gegen den der Spiralen vernachlässigt werden kann, wäre also die Stromstärke

$$\frac{2 \,.\, 814}{4 \,.\, 60} = 6{,}78 = 70 \,.\, 0{,}0968 = 70 \,.\, \textit{tang}.\ 5^0 32'.$$

Als der Versuch angestellt, d. h. als eine der Tangentenbussolen ohne sonstigen merklichen Widerstand in den Schließungsbogen des Instrumentes eingeschaltet wurde, ergab sich bei der schon angeführten Umdrehungsgeschwindigkeit eine Ablenkung von $5{,}7^0$, was mit der berechneten sehr nahe übereinstimmt.

Nach diesen Versuchen wäre also der Widerstand einer solchen Inductionsspirale ungefähr gleich 120, während bei der angegebenen Umdrehungsgeschwindigkeit die elektromotorische Kraft einer Spirale 814, also nahe eben so groß ist, wie die eines Bunsen'schen Bechers.

Bei jeder Umdrehung der Kurbel macht die Rotationsaxe des Inductors 7 Umdrehungen, in obigem Falle also 14 Umdrehungen in der Secunde, was 28 Polaritätswechsel in den Eisenkernen der Spiralen macht.

Nach diesen Auseinandersetzungen lassen sich jetzt auch annähernd der Widerstand und die elektromotorische Kraft für die verschiedenen Combinationen der größeren Stöhrer'schen Maschine berechnen, vorausgesetzt, daß die Spiralen den unserigen gleich, und daß bei gleicher inducirender Kraft der Magnetpole gleichfalls 28 Polaritätswechsel in der Secunde vorkommen; sind alle 6 Spiralen neben einander combinirt, so hat man

$$R = \frac{120}{6} = 20$$

$$E = 814,$$

sind dagegen alle 6 Spiralen hinter einander combinirt

$$R = 6 \,.\, 120 = 720$$

$$E = 6 \,.\, 814 = 4884,$$

wonach man für gegebene Schließungsbogen ziemlich annähernd die Wirkungen jenes größeren Apparates berechnen kann.

Die elektromotorische Kraft der magneto-elektrischen Rotationsapparate hängt von der Umdrehungsgeschwindigkeit ab, wie dies Weber durch seine bereits citirten Messungen nachgewiesen hat. Auch mit unserer kleineren Maschine habe ich dergleichen Messungen gemacht. Als die Kurbel nur einmal in der Secunde umgedreht wurde, erhielt man 8,5° Ablenkung; während also die Zahl der Polaritätswechsel in der Secunde von 28 auf 14 herabkam, nahm die Stromstärke nur im Verhältniß von 0,194 : 0,149 oder von 1 : 0,76 ab.

Im Allgemeinen nimmt also die elektromotorische Kraft mit der Rotationsgeschwindigkeit zu, aber nicht in gleichem Verhältniß. Ob die elektromotorische Kraft für eine bestimmte Geschwindigkeit ein Maximum erreicht, um über dieselbe hinaus wieder abzunehmen, oder ob sich die elektromotorische Kraft asymptotisch einem größten Werthe nähert, ist noch nicht ermittelt.

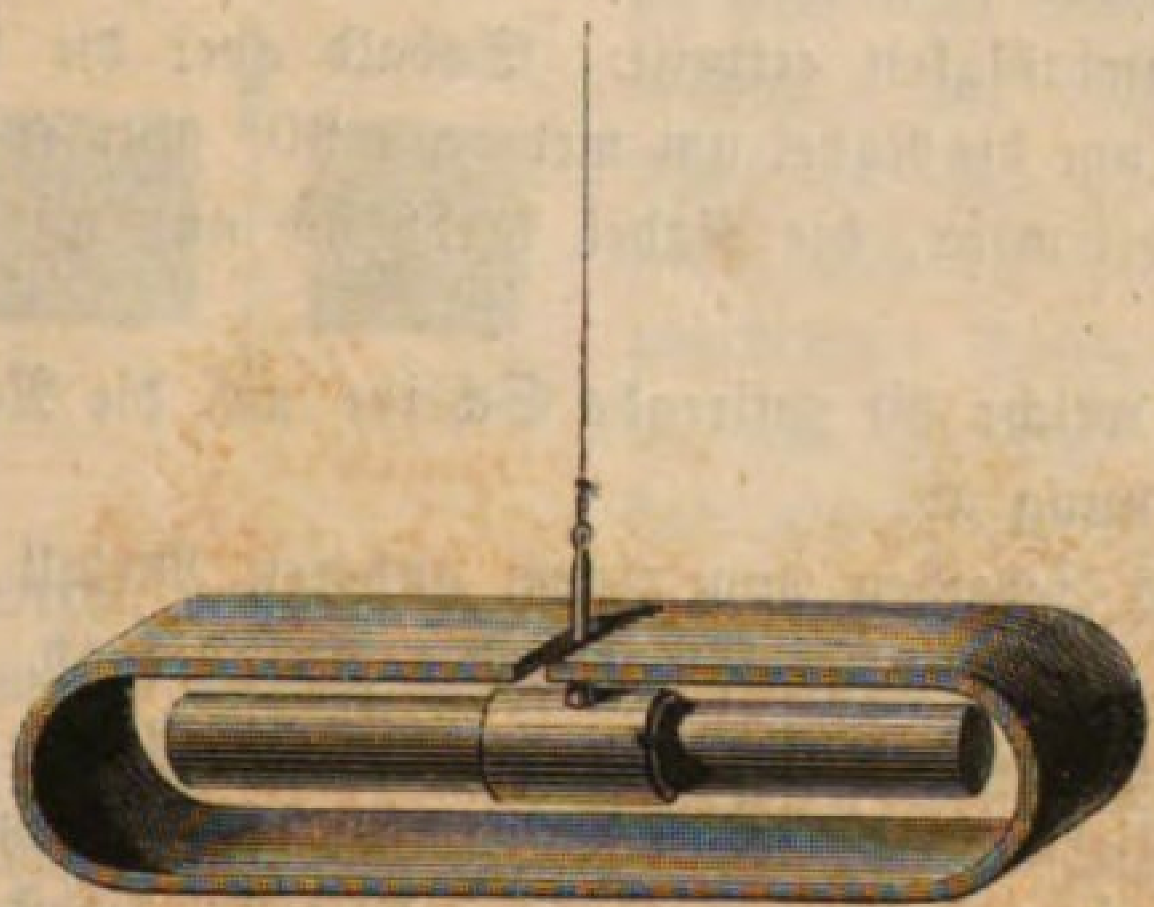
149 **Einwirkung bewegter Leiter auf Magnete.** Wenn man in der Weise, wie wir im Paragraph 146 gesehen haben, einer geschlossenen Inductionsspirale einen Magnetstab nähert, so werden, wie bereits dort angeführt wurde, in der Spirale Ströme inducirt, welche den Ampère'schen Strömen des genäherten Magneten entgegengesetzt sind. Nähert man etwa von oben her der Spirale den Nordpol des Magneten, so wird also das obere Ende der Spirale durch die inducirten Ströme gleichfalls zu einem Nordpol, welcher den Nordpol des Magneten abstößt, also hemmend auf die Annäherung desselben wirkt. Wird der Nordpol des Magneten zurückgezogen, so inducirt er Ströme, welche mit den seinigen gleichgerichtet sind, das obere Ende der Spirale wird zum Südpol, welcher den weggezogenen Nordpol des Stabes zurückzuhalten strebt. Mag man also den Magnetstab der Spirale nähern oder ihn von derselben zurückziehen, so werden die inducirten Ströme stets hemmend auf die Bewegung des Magneten wirken.

Am Schlusse des Paragraph 147 haben wir ein Beispiel dieser hemmenden Wirkung der Inductionsströme kennen gelernt. Eine eigentliche Annäherung und Entfernung des rotirenden Elektromagneten gegen die horizontalen Windungen des Rahmens findet hier nicht Statt; die Windungen des Elektromagneten nähern sich einmal dem Parallelismus mit den Windungen des Rahmens, und dann induciren sie entgegengesetzte Ströme in demselben; oder sie entfernen sich wieder von diesem Parallelismus, wo dann gleichgerichtete Ströme im Rahmen inducirt werden. Die Wechselwirkung zwischen den Strömen des roti-

renden Elektromagneten und den von ihm inducirten Strömen im Rahmen erklärt vollständig die oben besprochene Hemmung der Rotation.

Läßt man einen an Seidenfäden aufgehängten Magnetstab einmal vollkommen frei, dann aber wieder umgeben von einem kupfernen Bügel, wie es Fig. 381 dargestellt ist, oscilliren, so wird bei gleichem ursprünglichem Ausschlagswinkel der Magnetstab in letzterem Falle weit eher zur Ruhe kommen, d. h. die Oscillationen werden weit schneller aufhören als wenn der kupferne Bügel fehlt. Darauf gründet sich die Anwendung kupferner Dämpfer, mit welchen die Magnete in dem Apparate Fig. 261, Seite 281 und in dem Multiplicator Fig. 266, Seite 285 umgeben sind.

Fig. 381.

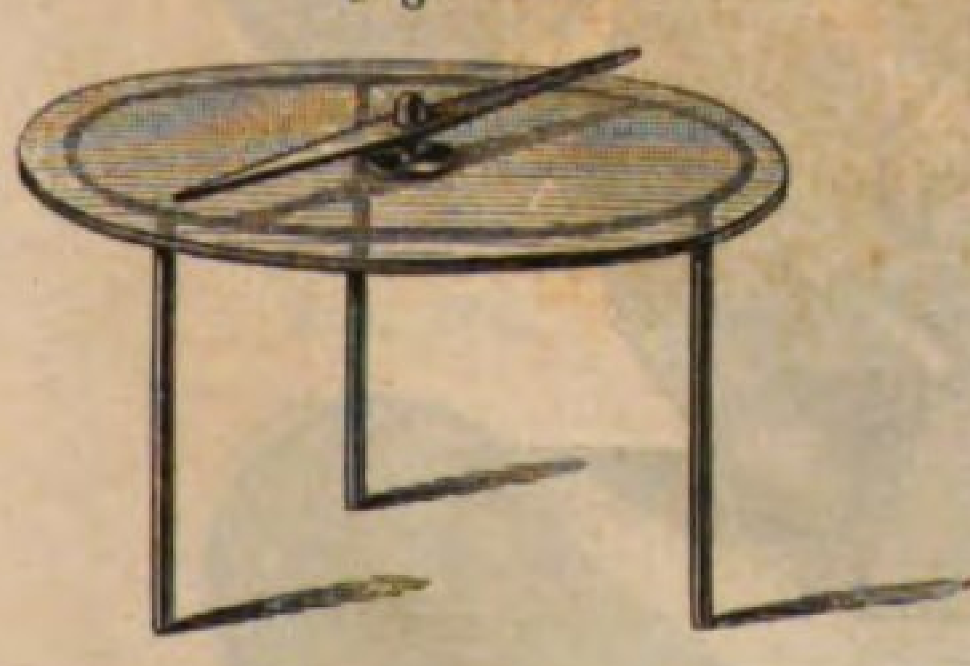


Arago hat die Beobachtung gemacht, daß, wenn man unter einer leicht beweglichen Magnetnadel eine horizontale kupferne Scheibe rotiren läßt, alsdann die Nadel der Bewegung der Scheibe folgt, d. h. daß sie sich in derselben Richtung um ihre Aufhängungsaxe umdreht wie die Scheibe.

Man kann den Versuch mit jeder Centrifugalmaschine anstellen. Auf die Rotationsaxe einer Centrifugalmaschine wird eine Kupferscheibe aufgeschraubt und dicht über dieser in horizontaler Lage eine Glasplatte auf irgend eine Weise befestigt, in deren Mitte, die sich gerade über der Rotationsaxe befindet, eine Spitze angebracht ist, auf welcher die Magnetnadel spielt.

Mit der Fig. 277, S. 222 des 1. Bandes abgebildeten Schwungmaschine läßt sich der Versuch einfach auf folgende Weise arrangiren. Nachdem die in ihrer horizontalen Ebene rotirende Kupferscheibe auf den Zapfen *a* aufgesetzt ist, wird auf das Gestell ein Dreifuß, Fig. 382, von starkem Messingdraht so gestellt, daß der Ring dieses Dreifußes ungefähr die Kupferscheibe umgiebt. Auf diesen Ring wird dann eine Glasscheibe gelegt, auf welche man endlich die auf einer niedrigen Spitze spielende Magnetnadel aufsetzt.

Fig. 382.



Die Erscheinungen, welche man mit diesem Apparate beobachtet, sind folgende. Wenn Alles in Ruhe ist, stellt sich die Nadel in den magnetischen Meridian. Fängt man nun an zu drehen, so wird die Nadel in der Richtung abgelenkt, nach welcher sich die Scheibe dreht. Die Kraft also, welche die Nadel fortzieht, wirkt der magnetischen Kraft der Erde entgegen, welche die Nadel in den mag-

netischen Meridian zurückzuführen strebt; je nach dem Verhältnisse dieser beiden Kräfte findet eine bestimmte Gleichgewichtslage für die Nadel Statt. Die ablenkende Kraft der Scheibe wächst mit der Geschwindigkeit; bei einer geringen Geschwindigkeit wird also die Nadel z. B. eine Ablenkung von 10° erleiden und in dieser Lage stehen bleiben; bei einer größeren Geschwindigkeit wird die Ablenkung 20° betragen u. s. w. Man kann es auf diese Weise dahin bringen, daß die Nadel bei jeder beliebigen Neigung gegen den magnetischen Meridian von 0° bis 90° stehen bleibt, je nachdem man der Scheibe eine größere oder geringere constante Geschwindigkeit ertheilt. Sobald aber die Geschwindigkeit einmal groß genug ist, um die Nadel um mehr als 90° abzulenken, giebt es keine Ruhelage für die Nadel mehr, die Nadel dreht sich nun mit der Scheibe.

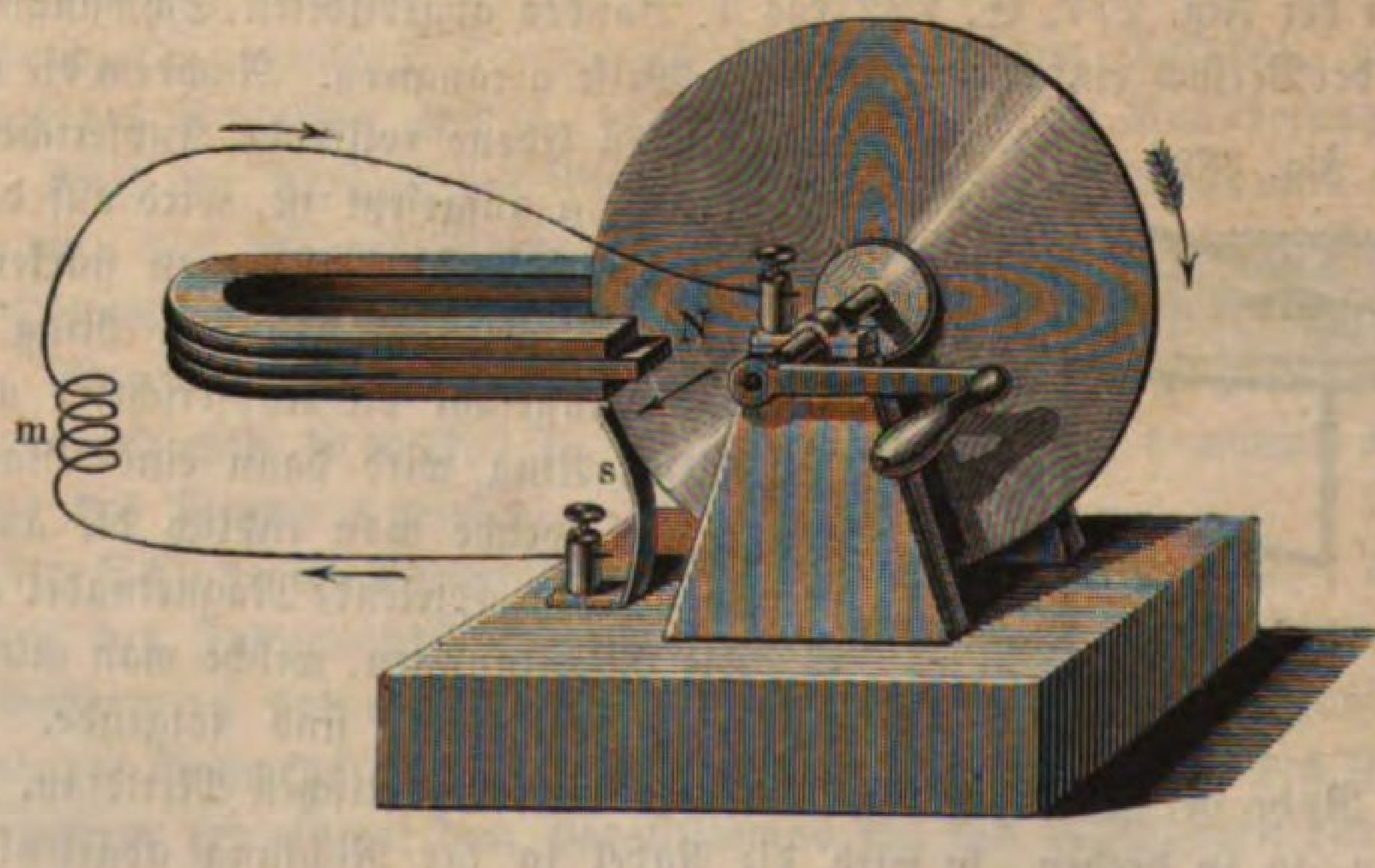
Die Intensität der Wirkung, welche die rotirende Scheibe auf die Nadel hervorbringt, nimmt mit der Entfernung ab.

Nimmt man statt des Kupfers Scheiben von einem anderen Metall, so nimmt die Stärke der Wirkung mit der Leitungsfähigkeit des Metalles ab.

Wenn die Scheibe in der Richtung der Radien eingeschnitten ist, so verliert sie einen großen Theil ihrer Wirksamkeit; wenn man aber die Einschnitte der kupfernen Scheibe nur am Rande mit einem beliebigen Metalle, selbst mit Wismuth, wieder zulöthet, so wird die verlorene Wirksamkeit fast vollständig wieder hergestellt.

Diese Erscheinungen lassen sich nun dadurch erklären, daß der Magnet in der rotirenden Scheibe Ströme inducirt. Daß solche inducirte Ströme wirklich vorhanden sind, hat Faraday auf folgende Weise durch den Versuch nachgewiesen: Eine kupferne Scheibe, welche um eine horizontale Axe drehbar ist, wurde so zwischen die beiden Pole eines Hufeisenmagneten gebracht, daß ihr Rand ungefähr zwischen die beiden Pole desselben fällt, wie Fig. 383 andeutet;

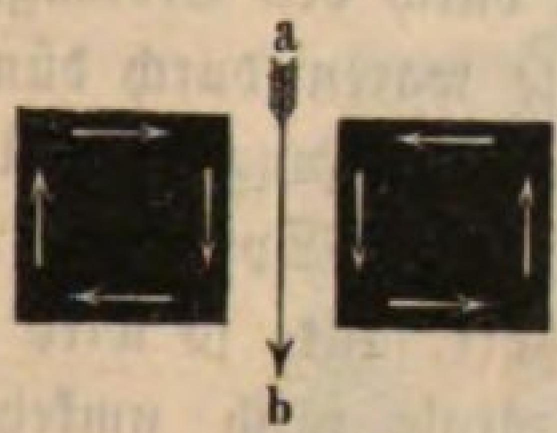
Fig. 383.



wenn man nun zwischen der Metallfeder *s*, welche in der Nähe der Magnetpole gegen den amalgamirten Rand der Kupferscheibe drückt, und der metallenen Axe

der Scheibe eine metallische Verbindung herstellt, in welche ein Multiplicator eingeschaltet ist, so weicht die Nadel des Multiplicators aus, sobald die Scheibe rotirt, und zwar hängt die Richtung der Ablenkung von der Richtung der Rotation ab; einmal nämlich zeigt die Nadel einen Strom an, welcher von der Mitte der Scheibe zum Rande geht, bei entgegengesetzter Drehungsrichtung einen Strom vom Rande nach der Mitte.

Fig. 384.



Es seien Fig. 384 durch die beiden Quadrate die Pole des Hufeisens, durch die kleinen Pfeile sei die Richtung der Ströme dargestellt, welche nach der Ampère'schen Theorie die beiden Pole bilden; man sieht, daß die Ströme beider Pole an den einander zugekehrten Seiten, an den Seiten also, welche bei unserem Versuche der rotirenden Scheibe zugekehrt sind, gleiche Richtung haben. Wird nun die Scheibe so gedreht, daß ihr Rand in derselben Richtung sich zwischen den Polen bewegt, also von *a* nach *b*, so zeigt der Multiplicator einen Strom an, welcher von der Mitte der Scheibe zum Rande geht; wenn aber die Richtung der Rotation der eben besprochenen entgegengesetzt ist, so geht der inducirte Strom vom Rande der Scheibe zur Mitte.

Die Richtung der inducirten Ströme, wie sie hier der Versuch angegeben hat, stimmt ganz mit dem oben angegebenen allgemeinen Inductionsgesetze überein.

Wenn statt der beiden Pole des Hufeisenmagneten nur einer gewirkt hätte, so würde die Erscheinung bis auf die Intensität der Wirkung ganz dieselbe gewesen sein.

Wenn nun die metallene Axe mit dem Rande nicht mehr durch den Multiplicatordraht verbunden ist, so hört deshalb die Induction der Ströme in der Scheibe nicht auf; nur werden die Ströme, da sie nicht mehr durch den Multiplicatordraht gehen können, in der Scheibe selbst ihren Weg vollenden müssen. Die Scheibe wird von Strömen durchlaufen, ungefähr wie Fig. 385 zeigt.

Fig. 385.



Wenden wir dies auf den Fall an, daß ein horizontaler Magnetstab über einer horizontalen rotirenden Kupferscheibe sich befinde. Nehmen wir an, die Ströme, welche den Magneten bilden, hätten eine solche Richtung, daß sie an der unteren, der Platte zugekehrten Seite des Stabes von der Linken zur Rechten gehen, und daß die Scheibe in der Richtung der Pfeile, Fig. 386, gedreht werde; so wird der eben besprochenen Erfahrung zufolge der Pol *a* Ströme induciren, welche von der Mitte der Scheibe zum Rande, der andere Pol aber solche, welche vom Rande nach der Mitte gehen, kurz, es wird ein System von Strömen inducirt, wie es Fig. 386 darstellt.

Fig. 386.



Die Rückwirkung dieser Ströme auf die Nadel bringt aber die oben besprochene Rotation derselben hervor.

150 **Induction elektrischer Ströme durch den Erdmagnetismus.** Auch der Erdmagnetismus kann, so gut wie ein Magnet, in einer geschlossenen Spirale Ströme induciren; da aber hier von einem Annähern und Entfernen nicht die Rede sein kann, so muß hier die Induction durch die Rotation der Spirale bewirkt werden. — Faraday hat die Induction durch den Erdmagnetismus zuerst beobachtet. Die Enden einer Drahtspirale waren durch dünne Drähte, welche lang genug waren, um eine ziemlich freie Bewegung zu gestatten, mit den Enden eines Multiplicators verbunden. Wird die Spirale so gehalten, daß ihre Axe in die Richtung der Inclinationsnadel fällt, so wird die Nadel des Multiplicators abgelenkt, wenn man die Spirale rasch umkehrt; durch rechtzeitige Wiederholung dieser Umdrehung kann man die Nadel leicht in bedeutende Schwingungen versetzen. Der Effect wird bedeutender, wenn ein weiches Eisen in der Hülse steckt, er rührt aber alsdann zum großen Theil von den Strömen her, welche durch den Polaritätswechsel des Eisenstabes inducirt werden.

Die Induction durch den Erdmagnetismus wurde nun durch einige italienische Naturforscher weiter verfolgt; endlich construirte Palmieri einen tellurischen Inductionsapparat, mit welchem er Funken, Schläge und Wasserzersetzung ohne Vermittelung von weichem Eisen hervorbrachte: 200 Windungen eines 1,5 Millimeter dicken Kupferdrahtes waren auf einen elliptischen Rahmen gewickelt, dessen große Axe 2,2 und dessen kleine Axe 0,6 Meter betrug. Die große Axe dieser Ellipse diente, auf dem magnetischen Meridian rechtwinkelig stehend, als Umdrehungsaxe.

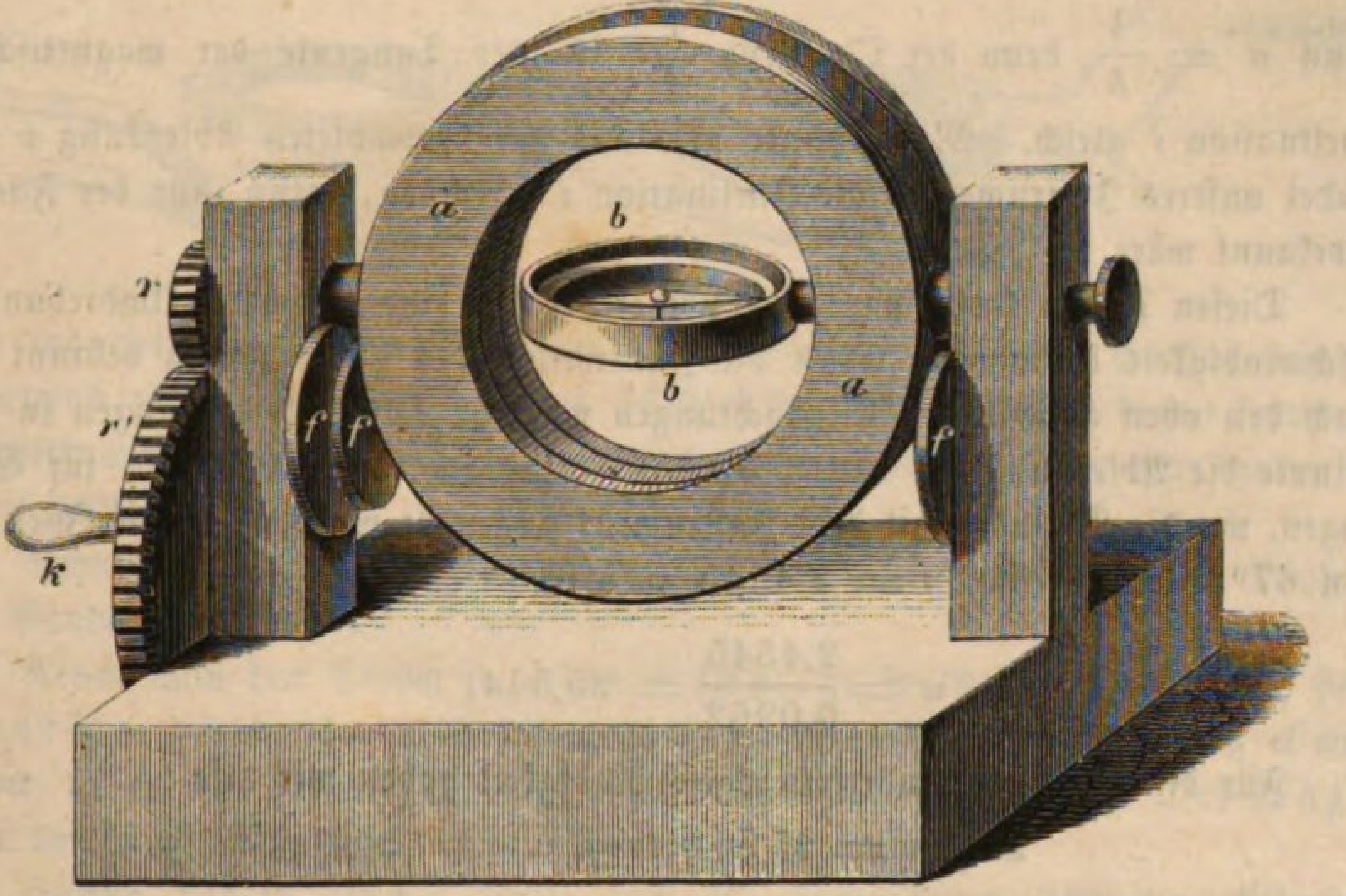
Mit einer solchen Spirale kann man die Erscheinungen der tellurischen Induction sehr gut hervorbringen, wenn man sie in gehörige Verbindung mit einem Commutator setzt; der Commutator, wie ihn Stöhrer bei seinem Rotationsapparaten anwendet, ist zu diesem Zweck sehr brauchbar.

Wenn die Rotationsaxe dieses Apparates mit der Richtung der Inclinationsaxe zusammenfällt, so kann keine Induction durch den Erdmagnetismus stattfinden.

Weber hat auf eine sehr sinnreiche Weise die tellurische Induction benutzt, um die magnetische Inclination zu bestimmen. Sein Inductions-Inclinatorium, Fig. 387 hat folgende Einrichtung. *aa* ist ein Ring, welcher 100^{mm} inneren, und 161^{mm} äußeren Durchmesser hat; er besteht aus 16 ringförmig ausgeschnittenen Kupferblechen, von denen 8 auf der einen, 8 auf der anderen Seite sich befinden, während in der Mitte ein Zwischenraum von 12^{mm} bleibt. Die Dicke des ganzen Ringes mit Einschluß des Zwischenraums betrug 34^{mm}. Die Axe, um welche dieser Ring gedreht wird, liegt auf beiden Seiten auf Frictionsrollen. Auf der rechten Seite ist die Axe hohl, und durch diese Höhlung ragt ein Stäbchen in den Ring hinein, welches die Bussole *b* trägt. Die Rotation des Ringes um seine Axe wird unter Vermittelung der Zahnräder *r* und

r' durch die Kurbel k bewirkt. Sieben Umdrehungen der Kurbel entsprechen 40 Umdrehungen des Inductionsringes.

Fig. 387.



Das Instrument wird so aufgestellt, daß die Umdrehungsaxe des Inductionsringes in den magnetischen Meridian fällt.

Bei jedem Schlage eines Secundenzählers wurde die Kurbel $\frac{1}{2}$- oder 1mal herumgedreht, was für den ersten Fall 166,7, für den zweiten 333,4 Umdrehungen des Inductors in der Minute ausmacht, da der Secundenschläger nicht genau Secunden schlug, sondern 60 Schläge = 61,7 Secunden waren.

Bei 166,7 Umdrehungen des Inductors in einer Minute wurde die Magnetnadel um $5,63^0$, bei 333,4 Umdrehungen um $10,76^0$ abgelenkt; die Ablenkung, also auch die Stärke des inducirten Stromes, ist mithin nahezu der Umdrehungsgeschwindigkeit proportional.

Da die Magnetnadel bei ihrer Ruhelage mit der Umdrehungsaxe des Ringes zusammenfällt, so kann sie im rotirenden Ringe keine Ströme induciren; eben so wenig inducirt der horizontale Theil des Erdmagnetismus im rotirenden Ringe einen Strom, die inducirten Ströme rühren also lediglich von der verticalen Composante des Erdmagnetismus her.

Während der Rotation des Ringes wirken auf die Nadel zwei Kräfte, eine ablenkende, welche von dem inducirten Strom herrührt, also dem verticalen Theile T^v des Erdmagnetismus proportional ist, und die wir also mit $bM.T^v$ bezeichnen können, wenn M die Stärke des Nadelmagnetismus, und b ein constanter Factor ist. Der horizontale Theil des Erdmagnetismus zieht aber die Nadel mit der Kraft MT zurück, wenn T die horizontale Intensität des Erdmagnetismus bezeichnet; folglich ist die Tangente des Ablenkungswinkels v

$$tang.\ v = \frac{b M T'}{M T} = b \frac{T'}{T} = b\ .\ tang.\ i$$

oder

$$tang.\ i = a\ tang.\ v,$$

wenn $a = \frac{1}{b}$, denn der Quotient $\frac{T'}{T}$ ist der Tangente der magnetischen Inclination i gleich. Man könnte also aus der beobachteten Ablenkung v der Nadel unseres Instrumentes die Inclination i berechnen, wenn nur der Factor a bekannt wäre.

Diesen Factor kann man aber umgekehrt für eine bestimmte Umdrehungsgeschwindigkeit bestimmen, wenn die Inclination des Ortes genau bekannt ist. Nach den oben angeführten Beobachtungen war für 166,7 Umdrehungen in der Minute die Ablenkung im Mittel 5,465°, also $tang.\ v = 0,0962$; für Göttingen, wo die Versuche mit dem Instrument angestellt wurden, ist die Inclination 67°50′; also $tang.\ i = 2,4545$, also ist

$$a = \frac{2,4545}{0,0962} = 25,514.$$

Für die erwähnte Umdrehungsgeschwindigkeit haben wir also

$$tang.\ i = 25,514\ tang.\ v.$$

Man kann also nun, wenn an irgend einem anderen Orte Versuche mit diesem Instrumente gemacht werden, aus dem beobachteten Ablenkungswinkel v die Inclination des Ortes bestimmen. Gesetzt, man habe mit demselben Instrumente an irgend einem Orte für die erwähnte Umdrehungsgeschwindigkeit $v = 3,5^{0}$ gefunden, so ergäbe sich für die Inclination dieses Ortes

$$tang.\ i = 25,514\ .\ 0,06116 = 1,5605$$
$$i = 57^{0}\,21'.$$

Der Factor von $tang.\, v$ ändert sich übrigens im umgekehrten Verhältniß der Umdrehungsgeschwindigkeit; für 500 Umdrehungen des Ringes (natürlich an demselben Instrument) wäre demnach der Factor von $tang.\ v$

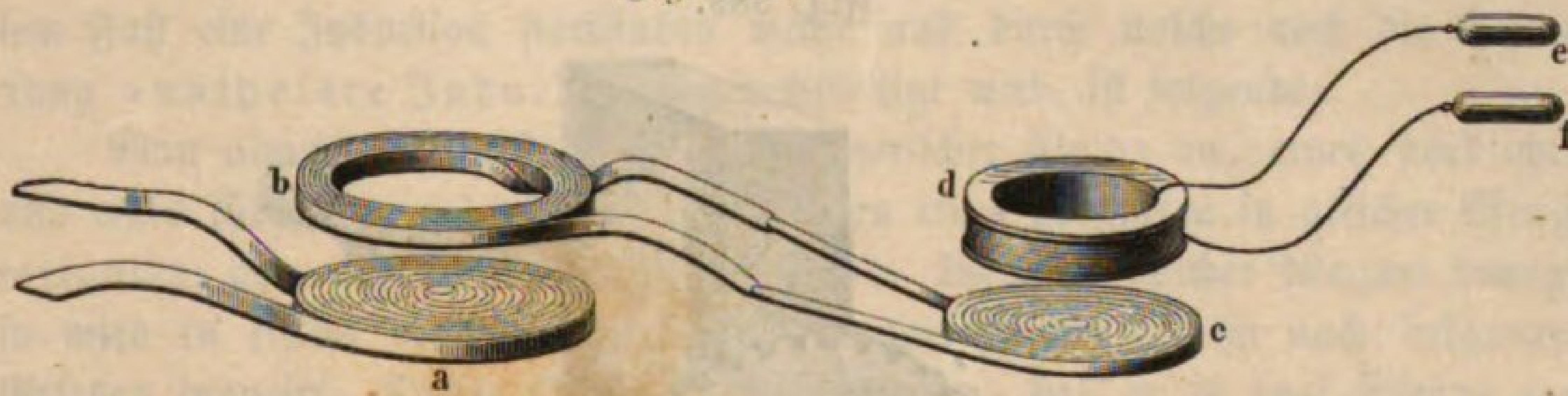
$$= 25,514\ .\ \frac{166,7}{500}.$$

So ist man also vermöge dieser äußerst sinnreichen Methode im Stande, aus der beobachteten Ablenkung einer horizontalen Magnetnadel die Inclination des Ortes zu bestimmen. (Pogg. Annal. Bd. XLIII, S. 493.)

151 **Inductionsströme höherer Ordnung.** Henry hat nachgewiesen, daß ein Inductionsstrom im Stande ist, wieder inducirend auf eine geschlossene Spirale zu wirken. Der primäre Strom ging durch die 90 Fuß lange Bandspirale a (Fig. 388); über dieser befand sich die 60füßige Bandspirale b; die Enden von b waren mit denen einer dritten Bandspirale c verbunden, welche gleichfalls aus einem 60 Fuß langen, aber nur $^{3}/_{4}$ Zoll breiten Kupferstreifen

gemacht war; da die Spirale *c* den Schließungsbogen von *b* bildet, so muß in *c* der Strom circuliren, welcher in *b* durch den Einfluß der Stromunterbrechung

Fig. 388.



in *a* inducirt wird. Der Strom in *c* konnte nun außer dem Einfluß von *a* inducirend auf die Drahtrolle *d* (aus 1660 Ellen eines $^1/_{49}$ Zoll dicken Drahtes gebildet) wirken. In der That bekam man bei Anfassung der Handhaben *e* und *f* kräftige Schläge.

Aehnliche Resultate wurden auch mit anderen Combinationen von Draht- und Bandrollen erhalten.

Nennt man den Strom in *a* den primären, so ist der in *b* und *c* der secundäre, der in *d* endlich der tertiäre, oder es ist der Strom in *d* ein Strom dritter Ordnung, der in *b* und *c* ein Strom zweiter Ordnung, wenn der in *a* als Strom erster Ordnung bezeichnet wird.

Henry hat in gleicher Weise auch die Existenz von Inductionsströmen vierter und fünfter Ordnung nachgewiesen.

Henry fand auch, daß zwischen zwei flachen Spiralen wie *a* und *b*, welche einander parallel gehalten sind, noch auf ziemlich bedeutende Entfernung hin eine inducirende Wirkung stattfindet.

Unipolare Induction. Wir haben gesehen, daß durch Bewegung eines Magneten in der Nähe einer geschlossenen Drahtspirale in dieser ein Strom inducirt wird, welcher demjenigen entgegengesetzt ist, welcher die Spirale durchlaufen müßte, wenn die Einwirkung dieses Stromes den Magneten in gleicher Weise bewegen sollte. Weber hat nun diese Umkehrung auch für den Fall nachgewiesen, daß die Längenaxe des Magneten selbst seine Rotationsaxe ist, und daß ein Stück dieser Axe zugleich einen Theil des geschlossenen Leiters ausmacht, wie es bei dem Rotationsversuch der Fall ist, welchen wir in §. 130, Figur 334 und 335 kennen lernten. 152

Der Apparat, welchen Weber anwendet, um durch einen um seine Axe rotirenden Magneten eine Induction hervorzubringen, welche er mit dem Namen der unipolaren Induction bezeichnet, ist Fig. 389 (a. f. S.) dargestellt. Ein cylindrischer Stahlmagnet, *m*, war an beiden Enden mit Spitzen versehen, welche in kleine Vertiefungen der eisernen Klammern *a* und *b* eingesetzt waren, wie man dies Fig. 390 deutlicher sieht. Diese Klammern waren auf das Brett aufgeschraubt, welches den ganzen Apparat trug. — In diese Klammern konnte man zwei große Magnete mit denjenigen Enden einschieben, welche den entgegen-

stehenden Polen des Magneten *m* entgegengesetzt waren, und dadurch den Magnetismus des Stahlcylinders *m* bedeutend erhöhen.

Fig. 389.

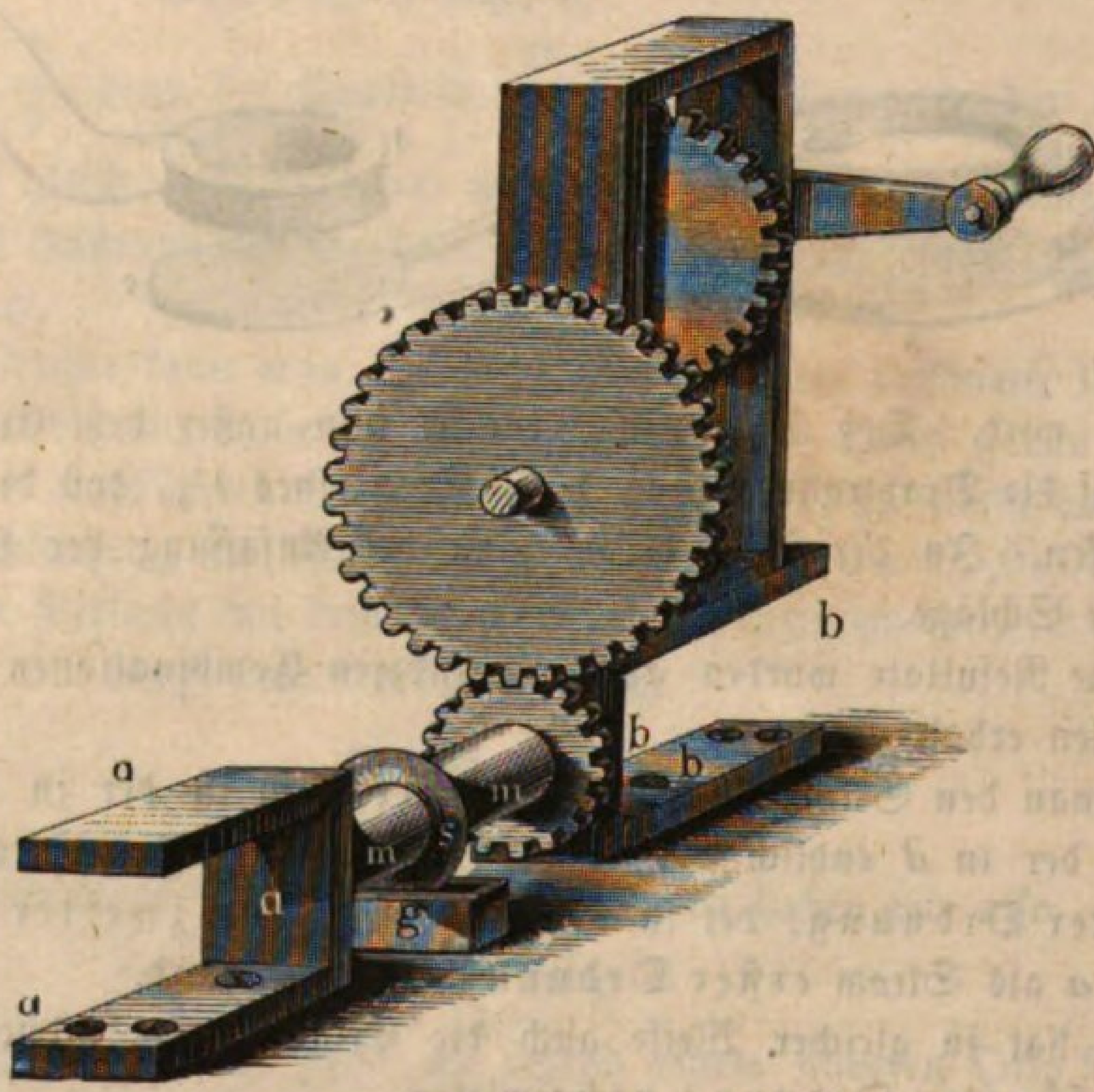
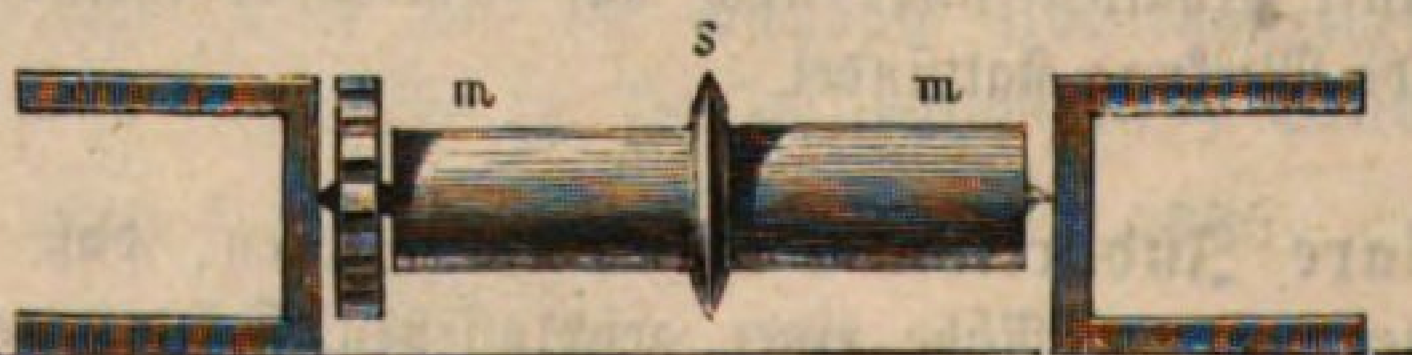


Fig. 390.



Die Umdrehung des Magneten *m* um seine Axe wurde durch ein Getriebe bewerkstelligt, dessen Einrichtung sich aus der Fig. 389 ergiebt. Bei jeder Umdrehung der Kurbel machte der Stahlcylinder $8^4/_7$ Umdrehungen.

Ungefähr auf der Mitte des Stahlcylinders *m* war eine Messingscheibe *s* befestigt, deren unteres Ende in Quecksilber eintauchte, welches sich in dem Gefäße *g* befand.

Wurde nun das eine Drahtende eines Multiplicators in das Quecksilbergefäß *g* getaucht, das andere an der Klammer *b* befestigt, so wurde die Multiplicatornadel abgelenkt, sobald man die Kurbel zu drehen begann.

Als Multiplicator wurde ein transportables Magnetometer angewendet, um dessen Magnetstab der Multiplicatordraht in 2000 Windungen herumgeführt war. Um die Kraft zu vermindern, mit welcher der Magnetometerstab im magnetischen Meridian zurückgehalten wird, wurde ein 25pfündiger Magnetstab etwa 2 Meter südlich vom Magnetometer so aufgestellt, daß er sein Südende nach

Norden kehrte; dadurch wurde natürlich die Empfindlichkeit des strommessenden Apparates sehr erhöht.

Die theoretische Betrachtung, durch welche Weber nachweist, daß in diesem Fall eine Induction stattfinden müsse und durch welche auch die Benennung »unipolare Induction« gerechtfertigt wird, ist folgende:

Man nimmt die Existenz zweier magnetischer Fluida an, eines nördlichen und eines südlichen, welche in den Molekülen eines Magneten in gleicher Menge vorhanden, aber von einander geschieden sind. Wird ein solcher Magnet bewegt, so wird in einem benachbarten Leiter ein galvanischer Strom nach bekannten Gesetzen inducirt. Dieser Strom ist so beschaffen, daß er in zwei Ströme zerlegt werden kann, von denen der eine durch die Bewegung des nördlichen, der andere durch die Bewegung des südlichen Fluidums entsteht. Diese Induction zweier Ströme durch die Bewegung beider magnetischer Fluida heiße im Allgemeinen eine bipolare Induction. Es ist aber auch eine Induction denkbar, wobei entweder bloß ein magnetisches Fluidum bewegt wird und also der vom anderen Fluidum inducirte Strom stets Null bleibt; oder das andere Fluidum bald positive, bald negative Ströme inducirt, deren Summe Null ist, so daß auch hier bloß derjenige Strom bleibt, welcher vom ersten Fluidum inducirt wird. Diese Induction eines Stromes durch die Bewegung eines magnetischen Fluidums heiße eine unipolare Induction.

Man denke sich einen Leiter, welcher die Gestalt eines horizontalen Kreises oder Ringes hat, und bewege in der verticalen Axe dieses Ringes einen nur nördliches Fluidum enthaltenden Körper abwärts, so wird im Ring ein Strom in der Richtung des Pfeiles *p*, Fig. 391, inducirt. Während sich das nordmagnetische Theilchen von oben her der Ringebene nähert, nimmt die Stärke des inducirten Stromes zu; während es sich unterhalb von der Ringebene entfernt, nimmt die Stromstärke ab, ohne daß eine Veränderung in der Stromesrichtung stattfände.

Fig. 391.

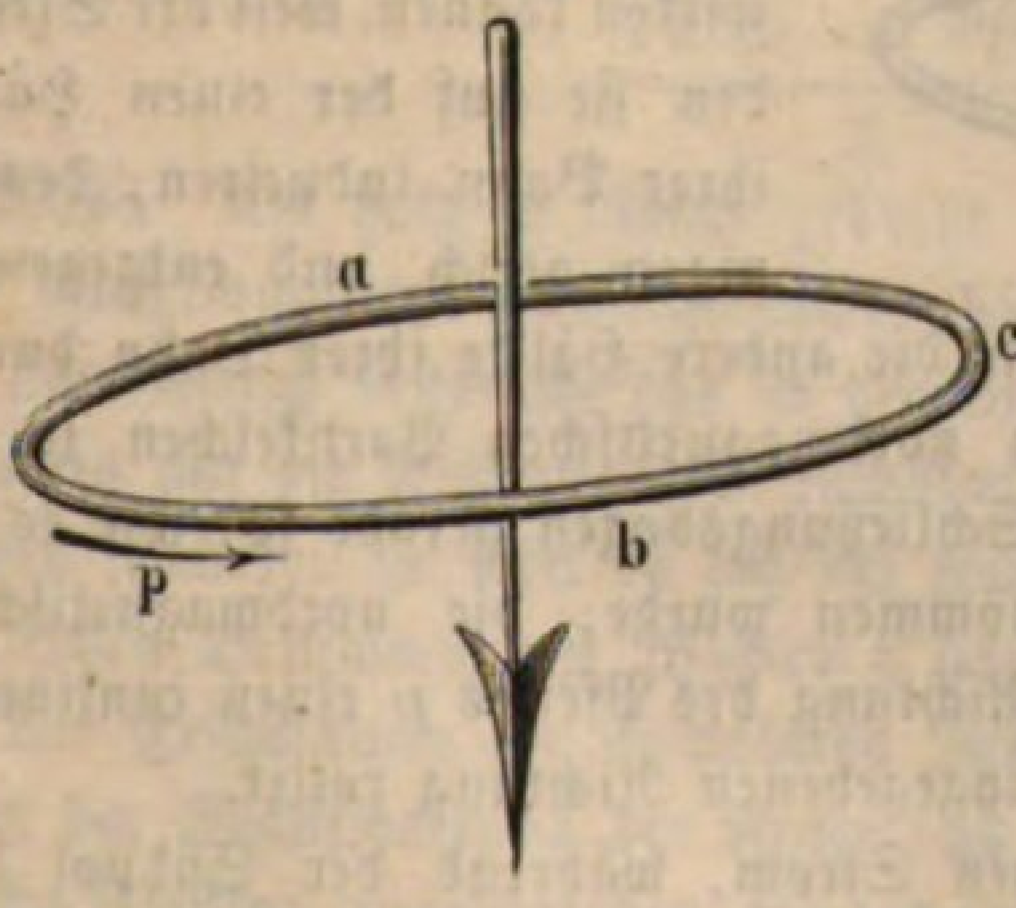
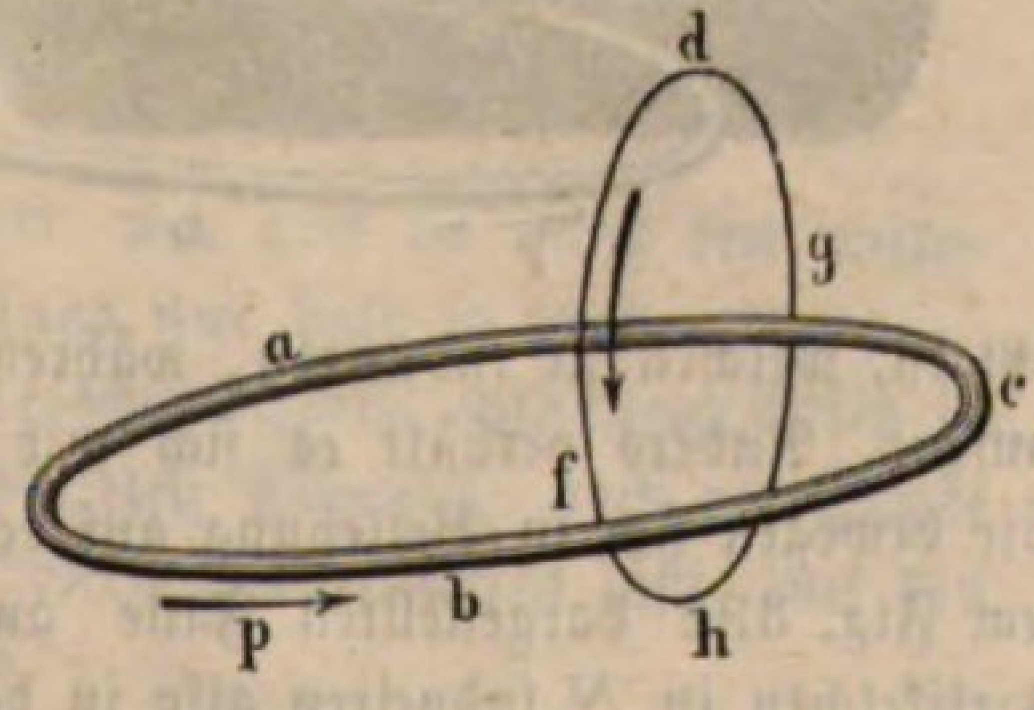


Fig. 392.



Wird nun der, nur nördliches Fluidum enthaltende Körper, nachdem er abwärts durch den Ring hindurchgegangen ist, außerhalb des Ringes wieder hinaufgeführt, beschreibt er also eine Bahn, ungefähr wie sie durch den Kreis

dfhg, Fig. 392 (a. v. S.), dargestellt ist, so wird er stets einen Strom in gleicher Richtung induciren.

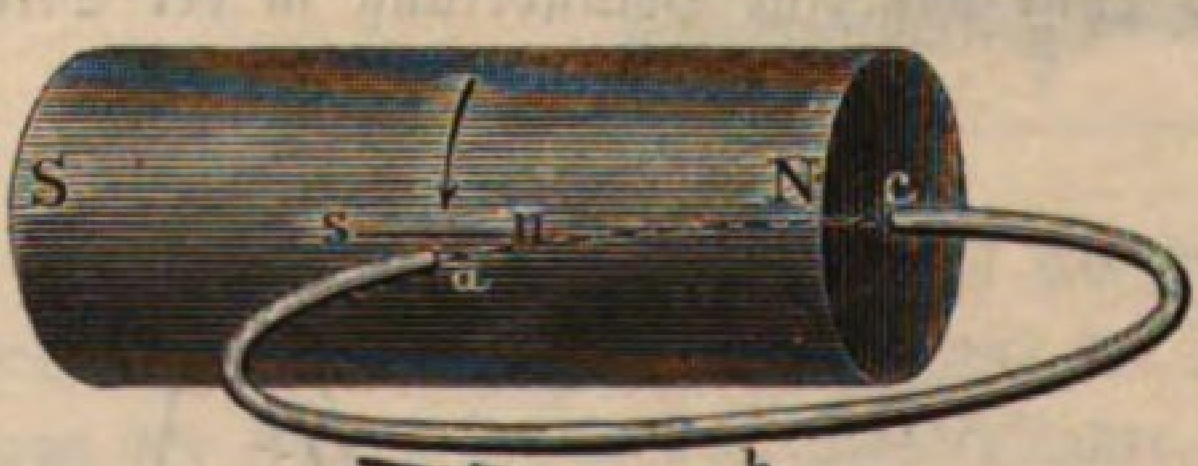
Enthielte der im Kreis *dfgh* bewegte Körper nur südliches Fluidum, so würde der im horizontalen Leiter inducirte Strom die entgegengesetzte Richtung von der in Fig. 392 angedeuteten haben.

In der eben angedeuteten Weise können wir freilich keine Induction zu Wege bringen, weil wir keinen Körper darstellen können, in welchem bloß nördliches oder bloß südliches Fluidum vorhanden wäre. — Wenn es aber auch keinen Körper giebt, welcher nur das eine Fluidum enthielte, so sind doch in einem magnetischen Körper die magnetischen Flüssigkeiten räumlich getrennt, und wir können uns ja die Wirkungen eines Magneten nach außen dadurch hervorgebracht denken, daß das nördliche Fluidum im einen, das südliche im anderen Pol des Magnetstabes gesammelt ist. Wir können es nun so einrichten, daß der eine Pol eines Magnetstabes, etwa der Nordpol, in der Fig. 392 angedeuteten Weise, halb durch den Ring hindurch, halb um ihn herumgeht, während der andere Pol ganz außerhalb des Schließungsbogens bleibt.

Um ein derartiges Arrangement herzurichten, muß man einen Theil des Magneten selbst in den Schließungsbogen einschalten, wie es der Fall ist, wenn man das eine Ende eines Leitungsdrahtes in der Mitte des einen Poles, das andere Ende an der Seite des Magnetstabes ansetzt, wie es Fig. 393 angedeutet ist, wo *NS* einen cylindrischen Magnetstab und *abc* einen Leitungsdraht darstellt, zwischen dessen Enden ein Stück des Magneten eingeschaltet ist.

Man sieht nun leicht ein, daß, wenn bei dieser Anordnung der Magnet um seine Axe rotirt, die einzelnen südmagnetischen Partikelchen in *S* stets außerhalb des geschlossenen Leiters bleiben, daß sie also keinen bemerkbaren Inductionsstrom in demselben bewirken können, weil der Strom, den sie auf der einen Hälfte ihrer Bahn induciren, demjenigen gleich und entgegengesetzt ist, welchen sie induciren, während sie die andere Hälfte ihrer Bahn durchlaufen. Anders verhält es sich mit den nordmagnetischen Partikelchen in *N*. Sie bewegen sich in Beziehung auf den Schließungsbogen gerade so, wie es in dem Fig. 392 dargestellten Falle angenommen wurde; die nordmagnetischen Partikelchen in *N* induciren also in der Richtung des Pfeiles *p* einen continuirlichen Strom, wenn der Magnet in der angegebenen Richtung rotirt.

Fig. 393.



Hier inducirt also der Nordpol einen Strom, während der Südpol des Magneten keine entsprechende Induction bewirken kann, daher der Name der **unipolaren Induction**.

Wir haben hier freilich angenommen, daß alles nordmagnetische Fluidum in *N*, alles südliche in *S* concentrirt sei, was in der That nicht der Fall ist.

indem sich in der ganzen Länge des Magnetstabes noch magnetische Partikelchen vorfinden. Was aber für den ganzen Magneten gesagt wurde, gilt ebenso für die einzelnen magnetischen Partikelchen. Denken wir uns ein magnetisches Partikelchen *ns*, dessen Mittelpunkt bei seiner Rotation gerade den Punkt passirt, an welchem der Draht den Stahlcylinder berührt, so wird während der Rotation des Cylinders *n* durch den Ring hindurchgehen, *s* aber außerhalb desselben bleiben, also bloß *n* einen continuirlichen, stets gleichgerichteten Strom induciren; so giebt es für jeden Punkt des Schließungsbogens innerhalb des Stahlcylinders eine Reihe von magnetischen Partikelchen, welche bei der Rotation mit ihrem einen Pole durch den Schließungsbogen hindurchgehen, mit dem anderen aber bloß außerhalb desselben sich bewegen.

Man übersieht nun auch leicht, daß der Apparat Fig. 389 die Ausführung der Fig. 393 schematisch dargestellten Anordnung ist.

Aus den oben angestellten Betrachtungen ergeben sich nun in Beziehung auf den unipolaren Inductionsstrom noch folgende Gesetze.

Die Induction ist unabhängig von der Länge des Cylinders, vorausgesetzt, daß alle seine Theilchen gleich stark magnetisch sind; sie ist aber unter sonst gleichen Umständen dem Querschnitt des Cylinders proportional.

In den oben beschriebenen Apparat wurde ein Stahlcylinder von 269^{mm} Länge und 23^{mm} Durchmesser eingeschaltet, dessen magnetisches Moment nach absolutem Maaß 65 000 000 beträgt. Seine Pole wurden durch magnetische Vorlagen verstärkt. Als nun die Kurbel so gedreht wurde, daß der Magnet 60 Umdrehungen in 7 Secunden machte, wurde der Magnetometerstab so aus dem magnetischen Meridian abgelenkt, daß seiner neuen Gleichgewichtslage der Theilstrich 622,5 der Magnetometerscala entsprach. Es wurde mit gleicher Geschwindigkeit nach entgegengesetzter Richtung gedreht und nun entsprach der Theilstrich 736,5 der Gleichgewichtslage. Die durch den unipolaren Inductionsstrom hervorgebrachte Ablenkung aus dem magnetischen Meridian betrug also in diesem Falle

$$\frac{736,5 - 622,5}{2} = 57$$

Theilstriche. Als halb so schnell gedreht wurde, war auch die durch den unipolaren Inductionsstrom hervorgebrachte Ablenkung nur halb so groß.

Der Versuch bestätigte das in der Weber'schen Theorie enthaltene Gesetz in Beziehung auf die Richtung des unipolar inducirten Stromes; auch die Stärke desselben stimmte, so weit es sich bei solchen Versuchen erwarten läßt, mit den theoretischen Bestimmungen Weber's überein.

Die Erscheinung der unipolaren Induction erhält eine besondere Wichtigkeit bei der Beantwortung der Frage, ob den beiden magnetischen Fluidis eine physische Existenz zugeschrieben werden müsse, oder ob überall statt ihrer die Annahme fortdauernder galvanischer Ströme im Inneren der Magnete zuläßig sei. — Zur Erklärung der unipolaren Induction scheint die letztere Annahme nicht zu genügen, während die Annahme von der physischen Existenz zweier magnetischer Fluida nicht allein jene Erklärung zu geben scheint, sondern auch

zuerst auf die Betrachtung dieser Erscheinung geführt hat. Ebenso läßt sich der Rotationsversuch, durch dessen Umkehrung die unipolare Induction erhalten wird, sehr wohl durch die Annahme magnetischer räumlich getrennter Fluida, aber nicht durch die Ampère'schen Ströme erklären. (Gauß und Weber, Resultate des magnetischen Vereins im Jahre 1839, Seite 63.)

153 **Weber's Theorie der Elektrodynamik und der Voltainduction.** Weber hat ein allgemeines Gesetz der elektrischen Wirkung in die Ferne aufgestellt, welches sowohl die Elektrostatik, wie die Elektrodynamik umfaßt, und aus welchem sich das Inductionsgesetz als nothwendige Folge ergiebt. Die vollständige Entwickelung des Zusammenhanges zwischen den genannten elektrischen Fernwirkungen findet sich in den »Abhandlungen der königl. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften, Leipzig 1846«; kürzer in Poggendorff's Annalen Bd. LXXIII, S. 193. Die Entwickelung der Grundzüge dieser Theorie findet sich in meinem »Bericht über die neuesten Fortschritte in der Physik« Seite 664 bis 675. Hier muß ich mich auf einige Andeutungen beschränken.

Betrachten wir zwei Stromelemente A und B, deren Wechselwirkung wir untersuchen wollen, so haben wir in jedem derselben gleiche Mengen positiver und negativer Elektricität, welche sich in entgegengesetzter Richtung bewegen. — Wir haben also in den zwei Stromelementen, die wir betrachten, vier Wechselwirkungen elektrischer Massen, zwei abstoßende zwischen den beiden positiven und den beiden negativen Massen in den Stromelementen, und zwei anziehende zwischen der positiven Masse in A und der negativen Masse in B, und ferner zwischen der negativen Masse in A und der positiven in B.

Jene beiden abstoßenden Kräfte müßten, wenn die bekannten elektrostatischen Gesetze eine unbedingte Anwendung auf unseren Fall fänden, den beiden anziehenden Kräften gleich sein, weil die gleichartigen sich abstoßenden Massen den ungleichartigen sich anziehenden gleich sind und aus gleicher Entfernung auf einander wirken.

Nun aber wirken zwei Stromelemente in der That anziehend oder abstoßend auf einander; wenn also irgend ein Zusammenhang zwischen den Grundgesetzen der Elektrostatik und der Elektrodynamik stattfinden soll, so muß man annehmen, daß die gegenseitige Einwirkung elektrischer Massen durch ihren Bewegungszustand modificirt werde. Das statische Gesetz der elektrischen Abstoßung bedarf also einer Ergänzung, wenn die Gesetze der Elektrodynamik daraus abgeleitet werden sollen.

Nach dem elektrostatischen Gesetze läßt sich die gegenseitige Einwirkung zweier elektrischen Massen ε und ε', deren gegenseitige Entfernung r ist, ausdrücken durch

$$\frac{\varepsilon\ \varepsilon'}{r^2}$$

und dieser Ausdruck ist positiv zu nehmen (Anziehung), wenn ε und ε' entgegengesetzter Natur, negativ dagegen (Abstoßung), wenn sie gleichnamig sind.

Nach Weber's Theorie ist die gegenseitige Einwirkung zweier elektrischen Theilchen aber nicht allein von ihrer Entfernung, sondern auch von ihrem relativen Bewegungszustande abhängig. Dem obigen Ausdrucke muß noch ein zweites Glied hinzugefügt werden, welches von der relativen Geschwindigkeit v, und ein drittes, welches von der relativen Beschleunigung g abhängig ist. Bei gegenseitiger Annäherung ist das zweite Glied negativ, das dritte positiv zu nehmen, die Gleichung, durch welche die gegenseitige Einwirkung zweier elektrischen Theilchen ε und ε' auf einander ausgedrückt wird, ist demnach

$$\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}(1 - av^2 + bg)\ldots$$

Suchen wir nun aus dem durch diese Formel ausgedrückten Gesetze die gegenseitige Einwirkung zweier Stromelemente in zwei speciellen Fällen abzuleiten.

Zunächst wollen wir den Fall betrachten, wo die Richtung der beiden Stromelemente A und B mit der sie verbindenden Geraden zusammenfällt; die Ströme seien in beiden Elementen gleich gerichtet, wie Fig. 394 andeutet, wo die gefiederten Pfeile die positiven, die ungefiederten die negativen Stromtheilchen andeuten sollen. Die gleichnamigen Stromtheilchen in A und B bleiben in unveränderter Entfernung, für sie ist also v und g gleich Null, die Größe, mit der die beiden positiven Stromtheilchen sich abstoßen, ist also $-\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}$. Diesem ganz gleich ist auch die Einwirkung der beiden negativen Stromtheilchen.

Fig. 394.



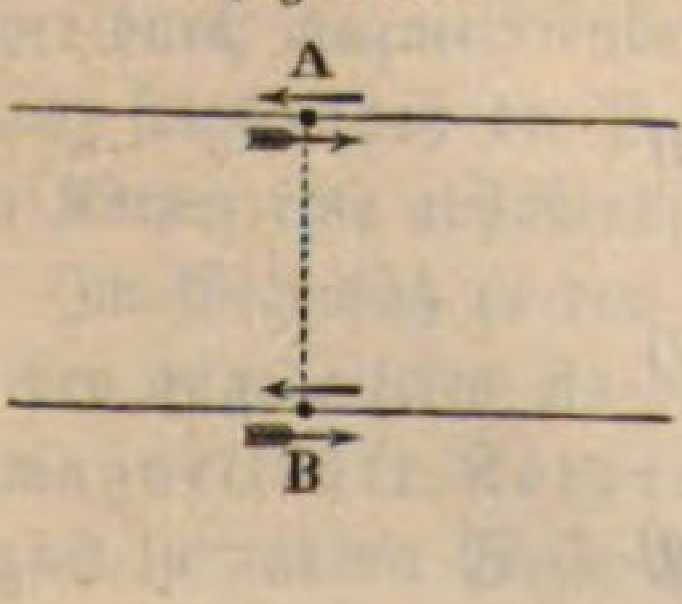
Das positive Stromtheilchen von A nähert sich aber mit gleichförmiger Geschwindigkeit dem negativen in B, mithin ist $g = 0$ und die Einwirkung dieser beiden Theilchen reducirt sich auf $\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}(1 - a\,v^2)$. Ebenso groß ist die Kraft, mit welcher das positive Stromtheilchen in B und das negative in A auf einander wirken; die Resultirende der vier einzelnen Kräfte ist also:

$$2\,\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}(1 - av^2) - 2\,\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2} = -2\,\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}\,av^2,$$

d. h. es muß, übereinstimmend mit dem Ampère'schen Gesetz, eine Abstoßung zwischen den Stromelementen A und B stattfinden.

Gehen wir zur Betrachtung paralleler, gleichgerichteter Ströme über, Fig. 395. Die gleichnamigen Stromtheilchen bleiben stets in gleicher Entfernung, für sie ist also v und g gleich Null; die Abstoßung der beiden positiven Stromtheilchen sowohl wie die der beiden negativen, ist also $\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}$. Die Stromtheilchen in A nähern oder entfernen sich von den ungleichnamigen in B mit ungleichförmiger Ge-

Fig. 395.



schwindigkeit, folglich ist g nicht gleich Null; dagegen wird für zwei einander gerade gegenüber liegende ungleichnamige Stromtheilchen in A und B die relative Geschwindigkeit v gleich Null sein, denn vor ihrer Ankunft in diesem Punkte nähern sich die fraglichen Stromtheilchen mit abnehmender, nachdem sie ihn passirt haben, entfernen sie sich mit wachsender relativer Geschwindigkeit; in den Punkten A und B selbst muß also die relative Geschwindigkeit v gleich Null sein. Die Einwirkung eines positiven Stromtheilchens in einem Draht auf das gerade gegenüber liegende negative ist also

$$\frac{\varepsilon\ \varepsilon'}{r^2}(1+bg)$$

und die Summe der gegenseitigen Einwirkungen aller vier Stromtheilchen:

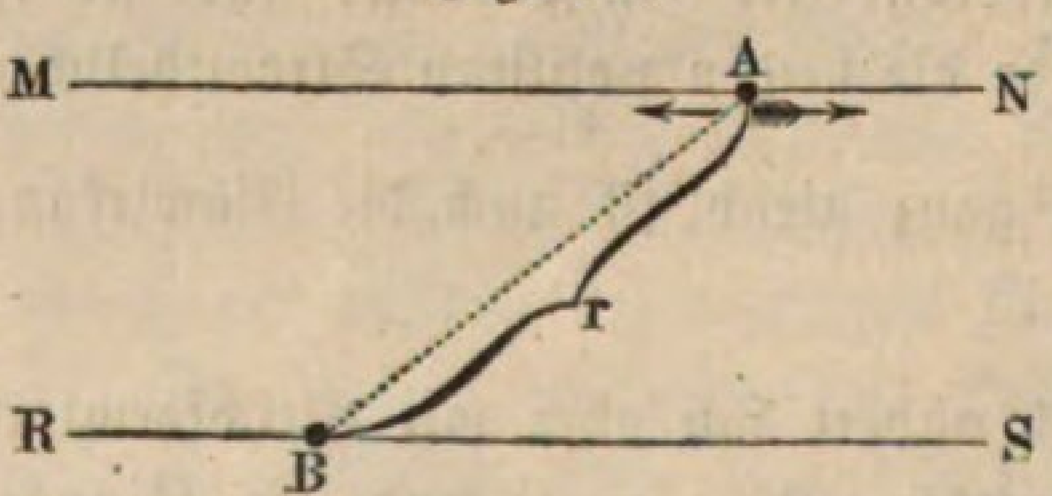
$$2\frac{\varepsilon\ \varepsilon'}{r^2}(1+bg)-2\frac{\varepsilon\ \varepsilon'}{r^2}=2\frac{\varepsilon\ \varepsilon'}{r^2}bg,$$

also eine Anziehung, wie es auch das Ampère'sche Gesetz verlangt.

154 **Die Volta-Induction** ergiebt sich als nothwendige Folge der Weber'schen Theorie. Wir müssen uns begnügen, dies an einem speciellen, einfachen Fall der Art nach zum Verständniß zu bringen.

In Fig. 396 seien MN und RS zwei parallele Leitungsdrähte; RS sei stromlos, während in MN in einem bestimmten Augenblick ein Strom zu circuliren beginnt. — Sehen wir nun, welche Wirkung die beiden elektrischen Theilchen, welche in diesem Moment von A aus nach entgegengesetzten Seiten auseinander zu fahren beginnen, auf das Theilchen B des anderen Drahtes ausüben. Die relative Geschwindigkeit der elektrischen Partikelchen in A und B ist für den Moment, wo der Strom beginnt, gleich Null, dagegen beginnt die Bewegung mit einer bestimmten Beschleunigung. Bezeichnen wir mit g die relative Beschleunigung des positiven Stromtheilchens in A, gegen B, so ist sie für das negative gleich $-g$, und wir erhalten folgende Wechselwirkungen zwischen den elektrischen Theilchen in A und B, wenn wir die positive Elektricität in A und B mit $+e$ und $+e'$, die negative mit $-e$ und $-e'$ bezeichnen:

Fig. 396.



$$+e \text{ auf } +e' \quad -\frac{e\ e'}{r^2}(1+bg)$$

$$+e \text{ auf } -e' \quad -\frac{e\ e'}{r^2}(1+bg)$$

$$-e \text{ auf } -e' \quad -\frac{e\ e'}{r^2}(1-bg)$$

$$-e \text{ auf } +e' \quad +\frac{e\ e'}{r^2}(1-bg).$$

Die Summe dieser vier Wechselwirkungen ist Null, es findet also keine elektrodynamische Wirkung zwischen den beiden Leitungsdrähten Statt. Dagegen ist die Summe der Wirkungen, welche auf $+ e'$ ausgeübt werden, gleich

$$- 2 \frac{e\,e'}{r^2}\,bg;$$

und ist die Summe der auf $- e'$ wirkenden Kräfte gleich

$$+ 2 \frac{e\,e'}{r^2}\,bg;$$

auf die positive und negative Elektricität in B wirken also ungleiche Kräfte, und die Kraft, welche sie in der Richtung von r zu trennen strebt, ist die Differenz dieser Kräfte.

Die Kraft, welche die entgegengesetzten Elektricitäten nach der Richtung der Linie r zu trennen strebt, haben wir nun nach der Richtung RS zu zerlegen, um die elektromotorische Kraft zu erhalten, mit welcher der in MN entstehende Strom einen Strom in RS zu induciren strebt. Wie man sieht, wird beim Entstehen eines Stromes in MN jede Elektricität im Draht RS nach einer Richtung fortgetrieben, welche der entgegengesetzt ist, mit welcher sich die gleichnamige Elektricität in MN bewegt.

Diamagnetismus. Nachdem Faraday die galvanische Induction entdeckt hatte, sprach er alsbald die Ansicht aus, daß der Strom im Hauptdrahte doch höchst wahrscheinlich fortdauernd auf den Nebendraht wirke, daß er ihn in einen eigenthümlichen Zustand versetze, den er mit dem Namen des elektrotonischen Zustandes bezeichnete. Den beim Schließen des Hauptstromes im Nebendrahte inducirten Strom betrachtete Faraday als den Ausdruck des Ueberganges vom gewöhnlichen Zustande des Nebendrahtes in den elektrotonischen, während sich die Rückkehr aus dem veränderten Zustande in den gewöhnlichen als Oeffnungsschlag kundgiebt. 155

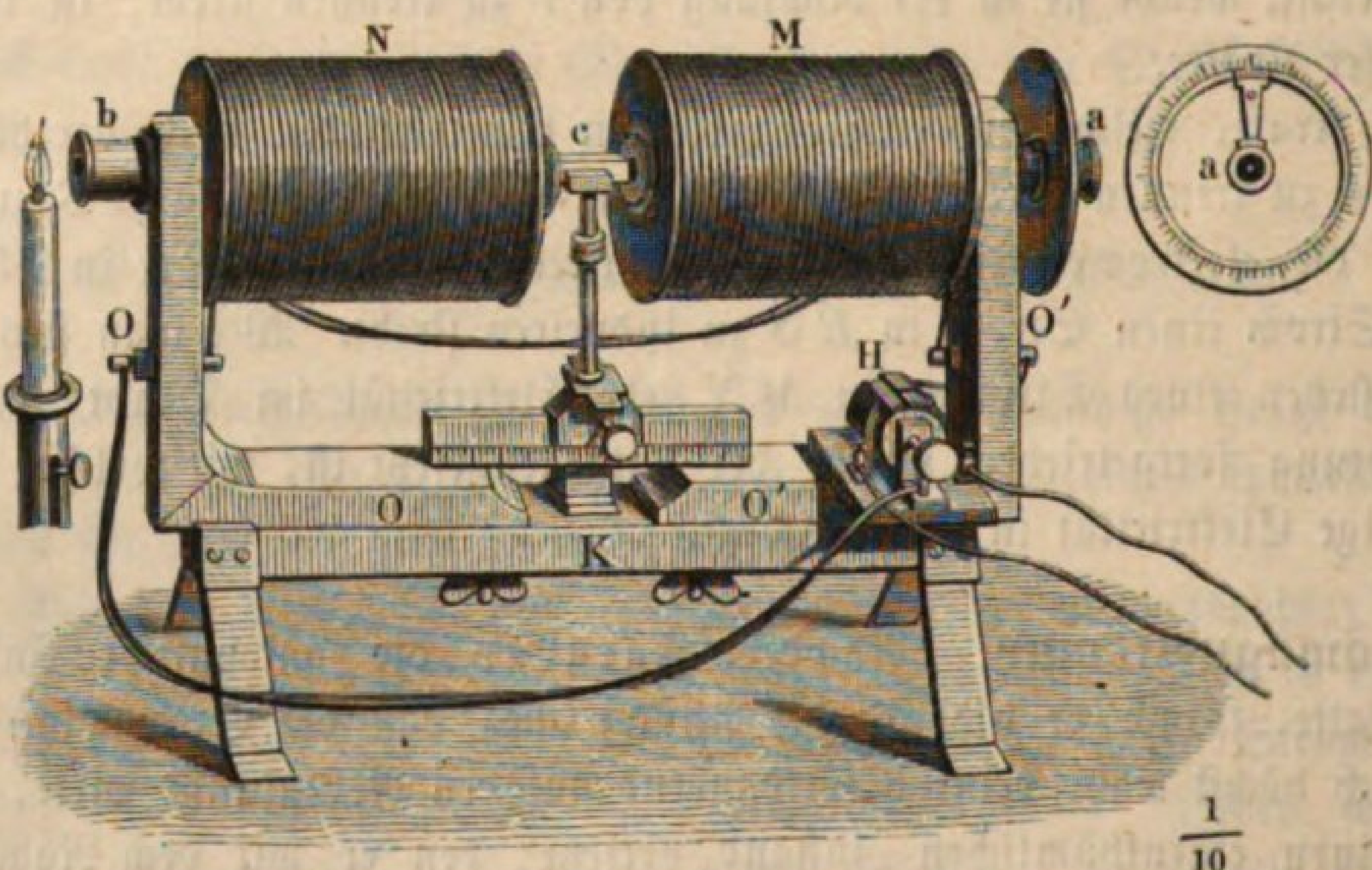
Nicht allein auf einen geschlossenen Draht, sondern überhaupt auf alle, selbst auf nichtleitende Körper, sollte nun nach Faraday's Ansicht eine solche Wirkung ausgeübt werden. In einigen Körpern, in Eisen, Nickel u. s. w., wird durch den Einfluß des Stromes ein Zustand hervorgerufen, welchen wir als den magnetischen kennen. Von dem elektrotonischen Zustande, in welchen des Magnetismus nicht fähige Körper durch den elektrischen Strom versetzt werden, hatte man bis dahin noch keine positiven Wahrnehmungen gemacht, bis es endlich dem unermüdlichen Bestreben Faraday's gelang, durch optische Mittel wirklich eine Veränderung des Molekularzusammenhanges verschiedener Körper durch magnetisirende Einflüsse darzuthun, worauf denn alsbald die Entdeckung folgte, daß die Pole eines kräftigen Magneten auf alle nicht magnetischen Körper eine abstoßende Wirkung ausüben.

Im Gegensatz zu den magnetischen Erscheinungen bezeichnet Faraday die eben angedeuteten als diamagnetische. Ein Diamagneticum oder ein diamagnetischer Körper wird nach ihm jeder genannt, auf welchen ein Magnet in anderer Weise wirkt als auf Eisen.

156 **Drehung der Polarisationsebene durch magnetisirende Kräfte.** Als Faraday zwischen die Pole eines kräftigen Elektromagneten ein ungefähr 2 Zoll langes Stück von kieselborsaurem Bleioxyd (welches er auch kurz nur schweres Glas nennt) brachte, fand er, daß die Polarisationsebene eines durch dieses Glasstück hindurchgesandten linear-polarisirten Lichtstrahls durch den Einfluß der Magnetpole eine Drehung erlitten hatte.

In möglichster Vollkommenheit kann dieser Versuch mittelst des Fig. 397 dargestellten Apparats angestellt werden. Zwei geradlinige Elektromagnete *M*

Fig. 379.



und *N* sind horizontal in solcher Stellung angebracht, daß die Axe des einen in der Verlängerung der Axe des anderen liegt; sie sind an den eisernen Trägern *O* und *O'* befestigt, die auf der eisernen Schiene *K* verschiebbar sind, so daß man nach Belieben die beiden Elektromagnete einander nähern oder von einander entfernen kann. Die Axen der Eisenkerne der Elektromagnete *M* und *N* sind der Länge nach durchbohrt, so daß man frei hindurchsehen kann. Am einen Ende dieses Canals ist das Nicol'sche Prisma *b* befestigt, am anderen Ende aber ist das Nicol *a* so angebracht, daß es um seine Axe gedreht und diese Drehung an einem getheilten Kreise abgelesen werden kann.

Die Windungen der beiden Elektromagnete sind so geführt, daß, wenn ein Strom sie durchläuft, der eine der beiden einander zugekehrten Pole ein Nordpol, der andere ein Südpol wird, daß also ein bei *c* angebrachter durchsichtiger Körper sich zwischen zwei ungleichnamigen Polen befindet.

Wenn das Prisma von schwerem Glase bei *c* aufgestellt ist und die beiden inneren Enden der Eisenkerne möglichst dicht an dasselbe herangerückt sind, werden noch vor Schließung des Stromes die beiden Nicols gekreuzt, so daß das Gesichtsfeld dunkel erscheint, wenn man durch das Nicol *a*, das Glas *c* und das Nicol *b* nach einem hellen Gegenstande, etwa einer Kerzenflamme hinsieht. Sobald man aber nun den Strom durch die Windungen der Elektromagnete

hindurchgehen läßt, wird das Gesichtsfeld mehr oder weniger erhellt, und man muß das Nicol *a* um eine Anzahl Grade drehen, damit das Gesichtsfeld wieder dunkel wird; die Polarisationsebene ist also gedreht worden, gerade so als ob *c* ein mit Circularpolarisation begabter Körper wäre. *H* ist ein Commutator, mittelst dessen man den Strom leicht schließen, öffnen und umkehren kann.

Ist durch die Einwirkung des Elektromagneten das vorher dunkle Gesichtsfeld hell gemacht worden, so wird es alsbald wieder dunkel, wenn man den Strom unterbricht.

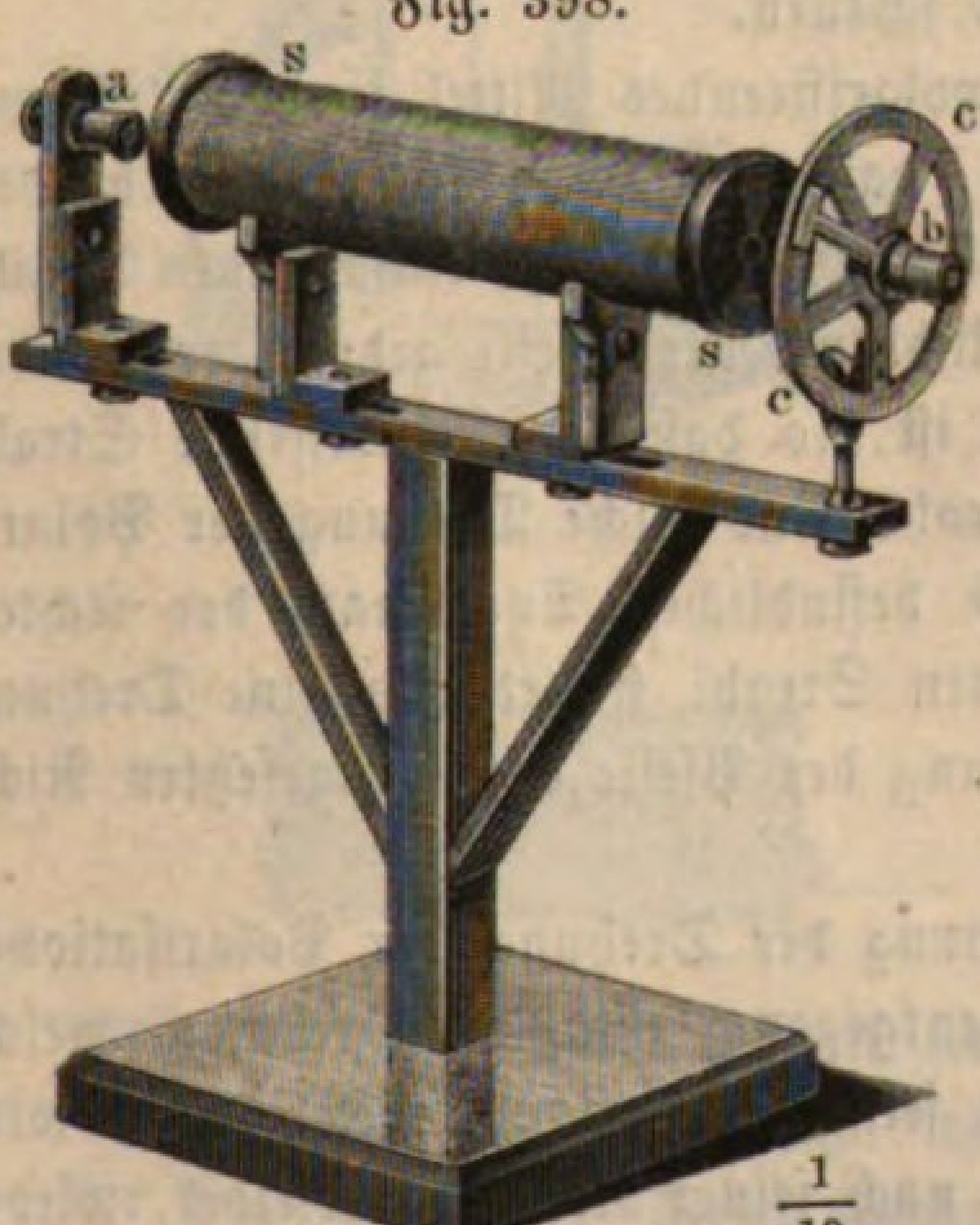
Die Richtung, nach welcher die Polarisationsebene in *c* gedreht wird, ist dieselbe, nach welcher der positive Strom in den Windungen der Elektromagnete *M* und *N* kreist.

Auch an anderen durchsichtigen, festen und flüssigen Körpern wurde eine solche Drehung der Polarisationsebene, wenn auch in geringerem Maaße, beobachtet.

Nach den erwähnten Erscheinungen ließ sich erwarten, daß ein elektrischer Strom, in Form eines Schraubendrahtes um die durchsichtigen Körper herumgeleitet, ebenfalls eine Drehung der Polarisationsebene bewirken müsse. Faraday fand dies vollkommen bestätigt.

Man kann zur Anstellung dieses Versuches den bereits auf Seite 736 des ersten Bandes beschriebenen Fig. 398 perspectivisch dargestellten Apparat anwenden. Eine Röhre, deren Einrichtung bereits Bd. I, Seite 737 beschrieben wurde, wird mit der entsprechenden Flüssigkeit gefüllt, in die Magnetisirungsspirale *ss* eingeschoben und diese dann so auf das Statif gelegt, daß die Axe der Spirale mit den Axen der beiden Nicols *a* und *b* eine gerade Linie bildet. Nachdem nun hinter den Nicol *a* ein heller Gegenstand, etwa eine Kerzenflamme, aufgestellt, und das Nicol *a* so gedreht worden ist, daß das Gesichtsfeld dunkel erscheint, wird der Strom einer Säule von 4 bis 5 Bunsen'schen Doppelbechern durch die Spirale hindurchgesendet, worauf denn das Gesichtsfeld wieder mehr oder weniger erhellt erscheint. Um es wieder dunkel zu machen, muß man das Ocularnicol *b* um einen bestimmten Winkel nach der linken oder rechten Seite drehen.

Fig. 398.



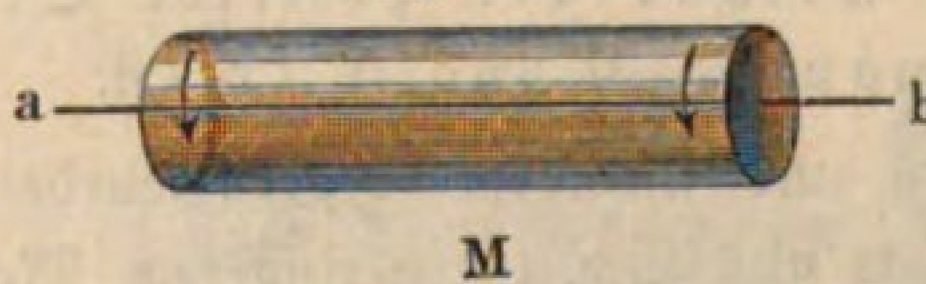
Wie sich nach den mit dem Elektromagneten erhaltenen Resultaten erwarten ließ, wird die Polarisationsebene des Strahles nach derselben Richtung gedreht, nach welcher der positive Strom in der Spirale circulirt.

Bringt man Körper, welche schon von Natur ein Drehungsvermögen besitzen, in die Rolle, so addirt oder subtrahirt sich der Effect des elektrischen Stromes zu dem ihrer eigenen Kraft, je nachdem der Strom die Polarisationsebene nach derselben oder nach der entgegengesetzten Richtung dreht, wie die Flüssigkeit selbst.

Zwischen der Drehung der Polarisationsebene durch den elektrischen Strom und der Drehung derselben in einem Körper, welcher die Eigenschaft der Circularpolarisation besitzt, besteht aber ein wesentlicher Unterschied.

In Fig. 399 stelle der Cylinder *M* ein durchsichtiges Diamagneticum dar, welches in der Richtung der Pfeile von elektrischen Strömen umkreist wird, so wird auch die Polarisationsebene eines Strahles, welcher *M* in der Richtung der Axe durchläuft, stets nach der Richtung der Pfeile gedreht. Geht nun der Strahl in der Richtung von *a* nach *b* fort, so beobachtet also ein in *b* befindliches Auge eine Drehung nach der Linken, während, wenn der Strahl sich von *b* nach *a* fortpflanzte, ein in *a* befindliches Auge unter sonst ganz gleichen Umständen eine Drehung nach der Rechten beobachtet. Bei circularpolarisirenden Körpern ist das nicht so. Wäre *M* ein rechtsdrehender circularpolarisirender Körper, so würde man die Polarisationsebene nach der rechten Seite gedreht finden, möchte man nun von *b* nach *a* oder von *a* nach *b* schauen.

Fig. 399.



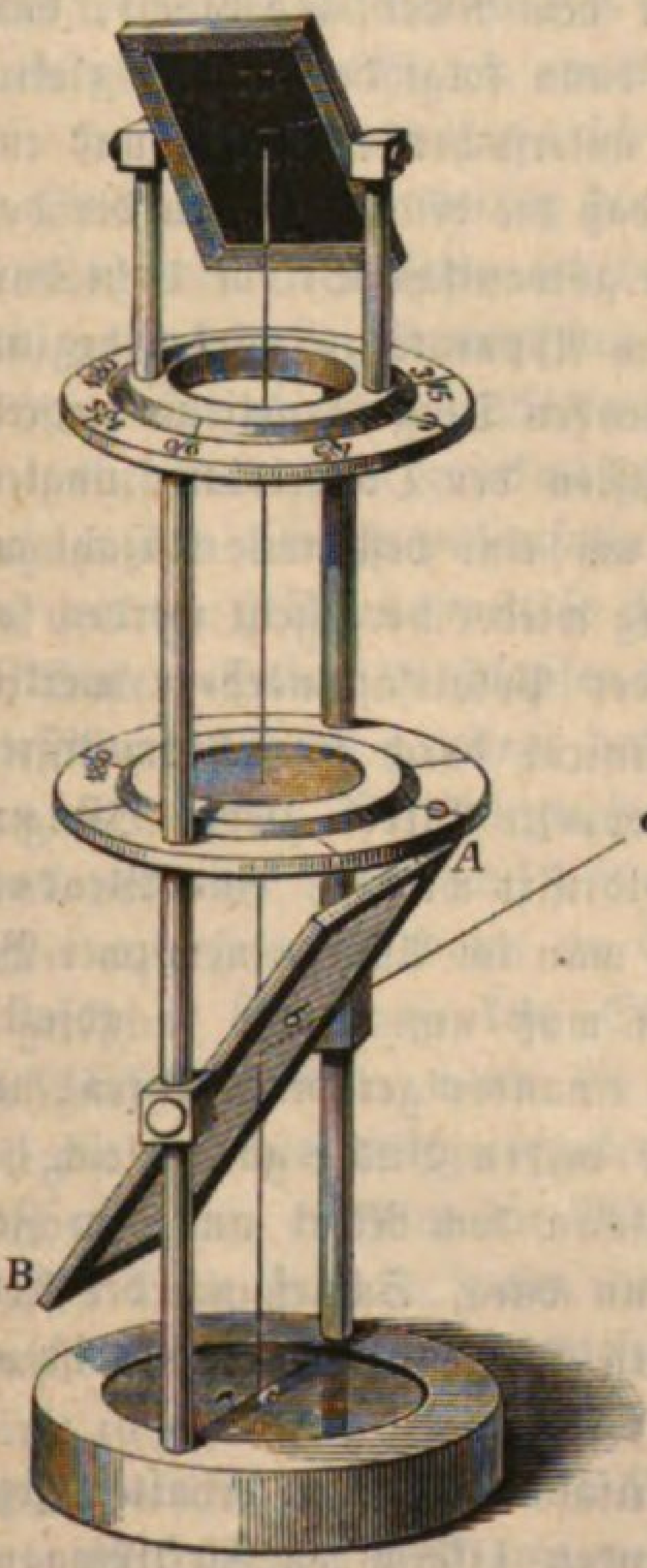
Dringt ein Lichtstrahl in ein circularpolarisirendes Mittel in der Richtung von *b* nach *a* ein, so würde, vorausgesetzt, daß das Mittel ein rechtsdrehendes ist, einem in *a* befindlichen Auge die Polarisationsebene des einfallenden Strahles nach der rechten Seite, also in der Richtung der Pfeile gedreht erscheinen. Wenn aber nun die Endfläche links belegt ist, so daß der sie treffende Strahl reflectirt wird, so wird der reflectirte Strahl eine solche Drehung der Polarisationsebene erleiden, daß sie einem in *b* befindlichen Auge nach der rechten Seite gedreht erscheint, für den reflectirten Strahl findet also eine Drehung der Polarisationsebene in einer der Richtung der Pfeile entgegengesetzten Richtung Statt.

Absolut genommen, ist also die Richtung der Drehung der Polarisationsebene vor und nach der Spiegelung eine entgegengesetzte, die Drehung, welche die Polarisationsebene des Strahles vor seiner Reflexion erlitten hat, wird durch die entgegengesetzte Drehung, die er nach seiner Reflexion erleidet, wieder aufgehoben; das Auge in *b* wird also gar keine Drehung der Polarisationsebene an dem von *a* her kommenden Strahl beobachten können.

Legt man eine senkrecht zur Axe geschnittene Quarzplatte auf den mittleren Tisch des Nörremberg'schen Polarisationsapparates, so beobachtet man die schon im ersten Bande beschriebenen Erscheinungen der Circularpolarisation; legt man aber die Quarzplatte auf den belegten Spiegel *c* im Fuße des Polarisationsapparates Fig. 400, so tritt der eben besprochene Fall ein: man beobachtet keine Drehung der Polarisationsebene mehr.

Da die Drehung der Polarisationsebene durch den Einfluß des elektrischen Stromes nur von der Richtung dieses Stromes abhängt, da sie absolut dieselbe ist, mögen die Strahlen nach der einen oder nach der anderen Seite fortgehen, so findet hier keine Aufhebung der Drehung der Polarisationsebene Statt, wenn der Strahl an der Rückwand gespiegelt wieder zurückläuft.

Fig. 400.



Wenn der Körper *M*, Fig. 399, durch elektrische Ströme die Eigenschaft erhalten hat, die Polarisationsebene zu drehen, so wird ein in *b* befindliches Auge die Polarisationsebene des an der anderen Endfläche reflectirten Strahles doppelt so stark gedreht finden, als wenn der Strahl hier ausgetreten und nach *a* gelangt wäre.

Faraday hat dies sehr sinnreich benutzt, um die Drehung der Polarisationsebene in einem kurzen Stück eines Diamagneticums sehr merklich zu machen.

Ein Parallelepiped von schwerem Glase, 2,5 Zoll lang, dessen Querschnitt ein Quadrat von 7 Linien Seite war, wurde an beiden Enden polirt und versilbert. Auf der einen Seite wurde die Belegung bei *a*, auf der anderen Seite wurde sie bei *b* auf etwa 1 Linie Breite weggenommen, so daß ein bei *a* etwas schräg eintretender Strahl, nachdem er den Körper mehrmals hin- und hergehend durchlaufen hatte, bei *b* austreten konnte. Hat der Strahl auf diese Weise 5, 7, 9 u. s. w. mal die ganze Länge des Diamagneticums durchlaufen, so ist die Drehung der Polarisationsebene 5, 7, 9 u. s. w. mal so groß, als wenn er nur einmal gerade durchgegangen wäre.

Fig. 401.



Bei der Art und Weise, wie Faraday seine Versuche zuerst anstellte, ist die Drehung der Polarisationsebene selbst bei den geeigneteren Substanzen doch nur eine sehr geringe, wenn man nicht den Strahl wiederholt durch den Körper gehen läßt. Man war deshalb von verschiedenen Seiten her bemüht, die Erscheinung auffallender zu machen. Um dies zu erreichen, wurden nun zwei Wege eingeschlagen; einmal suchte man den optischen Theil des Apparates in der Weise zu vervollkommnen, daß schon eine geringe Drehung der Polarisationsebene merklicher gemacht wurde, dann aber suchte man die Apparate so zu construiren und anzuordnen, daß sie an und für sich eine stärkere Drehung bewirkten.

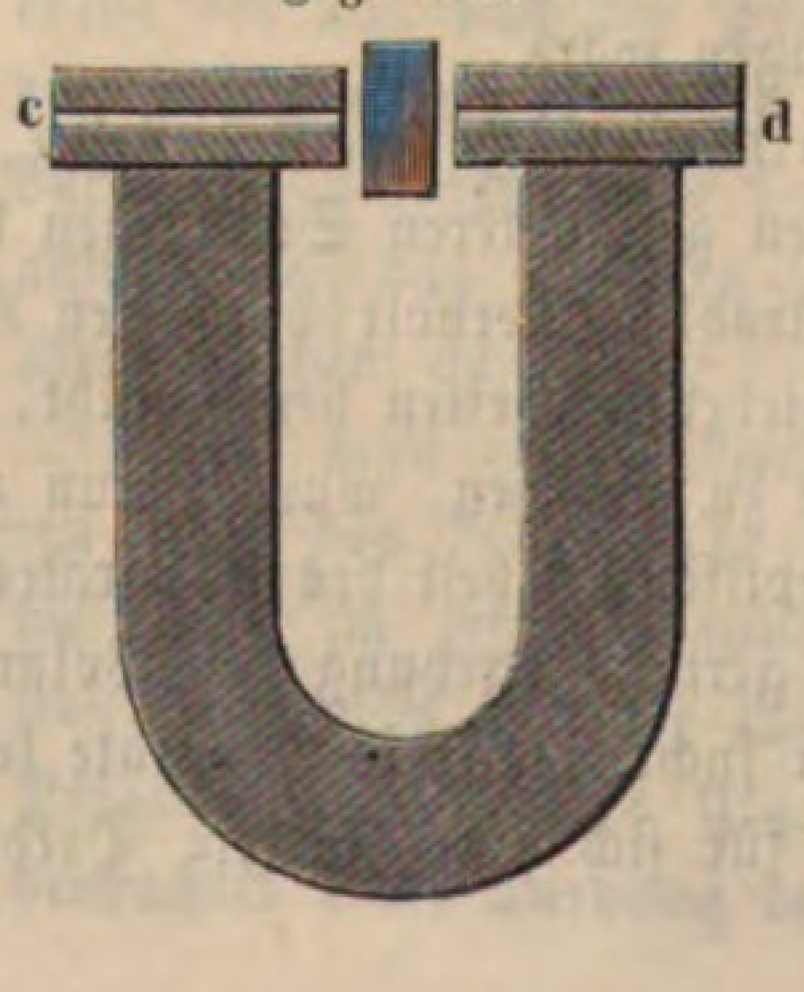
Um kleine Drehungen merklich zu machen, ist die doppelte Quarzplatte angewandt worden, die wir bereits im ersten Bande dieses Lehrbuches kennen gelernt haben.

Diese doppelte Platte ist nun dicht hinter dem Nicol angebracht, durch welches der Lichtstrahl in den Apparat eintritt; dann folgt der auf die elektromagnetische Drehung der Polarisationsebene zu untersuchende Körper, und endlich das Ocularnicol, welches so gestellt wird, daß die beiden Hälften der doppelten Platte gleich gefärbt erscheinen, wenn der galvanische Strom nicht durch den Apparat geht. Sobald nun der Strom im Apparate zu wirken beginnt, wird die Polarisationsebene in dem zu untersuchenden Diagmagneticum gedreht, und in Folge dessen werden nun die beiden Hälften der Doppelplatte ungleich gefärbt erscheinen; man muß das Ocularnicol um eine bestimmte Anzahl von Graden drehen, wenn die Gleichheit der Färbung wieder hergestellt werden soll.

Eine andere Methode, kleine Drehungen der Polarisationsebene merklich zu machen, besteht darin, daß man das Ocularnicol durch ein achromatisirtes Kalkspath- oder Quarzprisma ersetzt, welches doppelte Bilder giebt. Ist nun vor dem Nicol, durch welches die Strahlen polarisirt werden, eine Blendung mit kreisförmiger Oeffnung angebracht, so wird man im Allgemeinen zwei Bilder dieser Oeffnung sehen. Der ganze Apparat muß nun genau so adjustirt werden, daß diese beiden kreisförmigen Bilder einander gerade berühren, und dann dreht man das Ocularprisma so, daß die beiden Bilder ganz gleich hell erscheinen, wenn keine Circularpolarisation zwischen dem Nicol und dem Zerlegungsprisma stattfindet; sobald diese aber nun durch Schließung der Kette bewerkstelligt wird, hört die Gleichheit der beiden Bilder auf, und dies ist um so merklicher, weil sie unmittelbar neben einander liegen.

Um eine möglichst starke Drehung der Polarisationsebene zu erhalten, setzte E. Becquerel auf die Pole eines vertical stehenden Uförmigen Elektromagneten parallelepipedische Stücke von weichem Eisen, welche 11 Centimeter breit (gleich dem Durchmesser der Schenkel seines Elektromagneten), 16 Centimeter lang und 5 Centimeter hoch waren. Diese Stücke waren ihrer Länge nach durchbohrt, und zwar hatte die Höhlung 2 Centimeter Durchmesser; gehörig aufgesetzt, bildet die eine dieser Röhren genau die Verlängerung der anderen.

Fig. 402.



Die zu untersuchende Substanz wird zwischen diesen Eisenstücken angebracht, welche man, je nach den Umständen, bald mehr einander nähern, bald weiter von einander entfernen kann. Aus Fig. 402 kann man die Disposition des Apparates ersehen. Die Nicol'schen Prismen sind bei *c* und *d* angebracht.

Der bereits oben Fig. 397 dargestellte Apparat ist eine vollendetere Form dieses Arrangements.

Feste Körper, die man dem Versuch un-

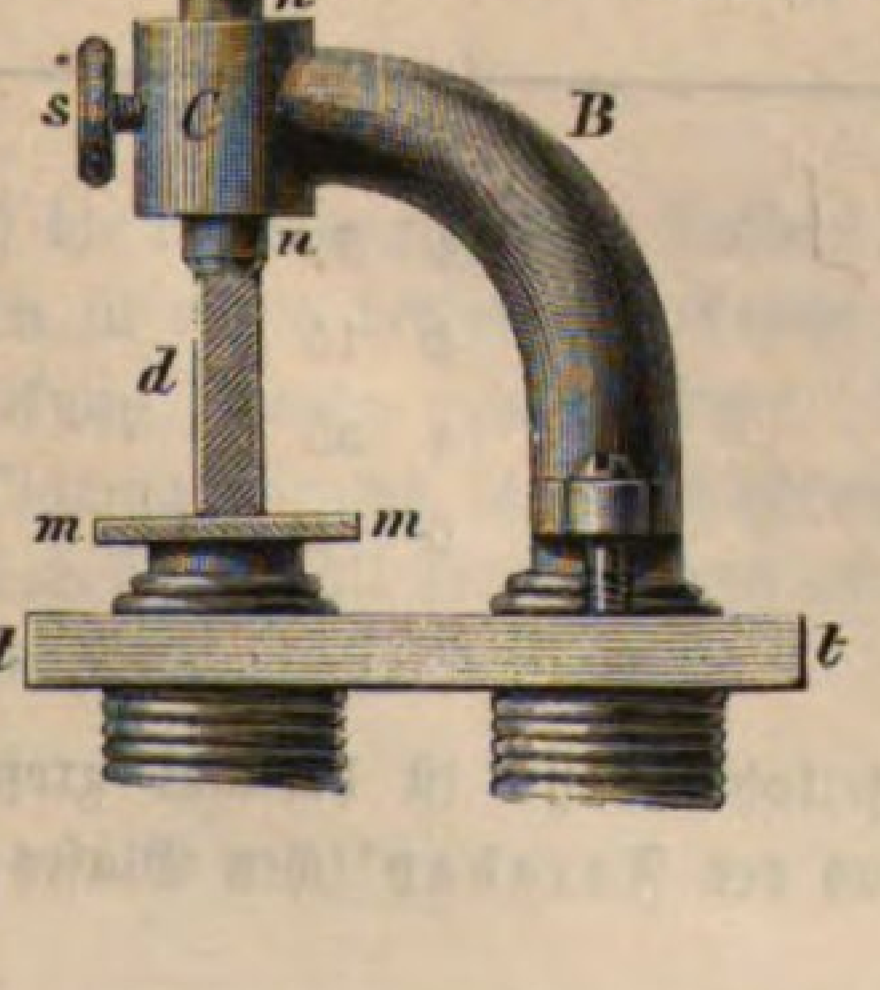
terwerfen will, werden mit parallelen Flächen versehen, Flüssigkeiten aber zwischen parallelen Wänden von dünnem Glas an die entsprechende Stelle des Apparates gebracht. Damit diese Körper nicht zerdrückt werden, wenn nach Schließung der Kette die beiden Eisenstücke sich anziehen, wird zwischen dieselben noch eine Holzplatte gebracht, welche um etwas dicker ist als die zu untersuchende Platte.

In einem Prisma von schwerem Glase (kiesel-borsaurem Bleioxyd) von 48 Millimeter Länge betrug die mit dem beschriebenen Apparat hervorgebrachte Drehung der Polarisationsebene (für die Strahlen von mittlerer Brechbarkeit) 16°, und zwar bei Anwendung einer Säule von 40 bis 50 mit starker Säure gefüllten Bunsen'schen Bechern.

Auf eine sehr zweckmäßige Weise benutzte Bertin die Eigenschaft der magnetischen Circularpolarisation, daß ein Strahl, welcher im Diamagneticum hin und her geht, doppelt so stark gedreht erscheint, als wenn er nur einmal die Dicke desselben durchlaufen hätte, indem er einen Nörremberg'schen Polarisationsapparat geradezu auf den einen Pol des (verticalstehenden) Elektromagneten setzte. Der belegte horizontale Spiegel *c*, Fig. 400, dieses Polarisationsapparates wurde auf den einen Pol eines aufrecht stehenden Elektromagneten aufgesetzt und dann ein Stück Faraday'schen Glases auf den Spiegel *c* gesetzt. So lange kein Strom durch den Apparat geht, sieht man das Gesichtsfeld dunkel, wenn die Polarisationsebenen des unteren Polarisationsspiegels und des Zerlegers gekreuzt sind; so wie aber der Strom durch die Drahtwinden geht, erscheint die Platte hell, und man muß den Zerleger nach der rechten Seite drehen, wenn der Polarisationsapparat auf einem Südpol steht, nach der linken im entgegengesetzten Falle, um wieder ein Minimum von Lichtstärke zu erhalten. Für eine 18^{mm} dicke Platte Faraday'schen Glases betrug diese Drehung 10°, für eine 48^{mm} dicke betrug sie 21°.

Mit solchen Elektromagneten, wie er oben Seite 289 abgebildet ist, dessen Eisen 35^{mm} Durchmesser hatte, erhielt ich nach der Bertin'schen Methode nur höchst unbedeutende Wirkungen. Um sie zu verstärken, ging ich darauf aus, auch bei Anwendung des Nörremberg'schen Polarisationsapparates das Diamagneticum zwisch a zwei Magnetpole zu bringen. Die Art und Weise, wie ich dies bewerkstelligte, ist in Fig. 403 dargestellt. Auf den einen Pol des Elektromagneten wird ein eiserner Bügel *B* aufgesetzt und durch Holzschrauben festgehalten, welche in das Brettchen *t* eingelassen sind. Gerade über der Mitte des anderen Poles endigt der Bügel *B* mit einem hohlen Eisencylinder *C*, in welchem ein eisernes Rohr *nn* von wenigstens 2''' innerer Oeffnung und nahe 2''' Wanddicke auf- und abgeschoben, und mittelst der Schraube *s* an jeder beliebigen Stelle festgestellt werden kann. *nn* wird so gerichtet, daß

Fig. 403.



es genau auf der oberen Fläche des Diamagneticums *d* aufsitzt, welches auf dem belegten Spiegel *mm* des Nörremberg'schen Apparates steht. Mittelst dieser Vorrichtung habe ich bei Anwendung von 20 Bunsen'schen Elementen (5 vierfachen) in einem 5 Centimeter hohen Säulchen von gewöhnlichem Flintglas eine Drehung der Polarisationsebene von 9° bei Umkehrung der Polarität erhalten. Die Dimensionen dieser Vorrichtung hängen natürlich von dem Apparat ab, an welchem sie angebracht werden soll.

Faraday hielt es für wahrscheinlich, daß in wässerigen Lösungen das Wasser und nicht der gelöste Stoff die drehende Substanz sei; Bertin hat dargethan, das dies nicht der Fall ist. Zunächst fand er, daß gerade die wasserfreien Flüssigkeiten die stärkste magnetische Circularpolarisation zeigen; dann aber auch, daß es unter den gelösten Stoffen einige giebt, welche das Drehungsvermögen des Wassers vermehren, andere, welche es vermindern.

Bei einer Dicke von 1 Centimeter fand er die Drehung in einigen wasserfreien Flüssigkeiten folgendermaßen:

Zinnchlorid	7° 30′
Schwefelkohlenstoff . . .	7°
Phosphorchlorid . . .	5°,

während eine gleich dicke Wasserschicht unter denselben Umständen die Polarisationsebene nur um 2° 20′ dreht.

Den Einfluß der Verdünnung zeigen folgende Beobachtungen. Bei einer Dicke von 13 Millimeter und unter sonst gleichen Umständen drehte

eine concentrirte Lösung von Chlornatrium .	6°	20′
dieselbe Menge Salz in der 2fachen Wassermenge	4	55
» » » » 4 » »	4	40
» » » » 8 » »	4	0
reines Wasser	3	40

Mit einigen anderen concentrirten Lösungen erhielt er folgende Resultate:

Drehung einer concentrirten Lösung von		Drehung einer gleich dicken Wasserschicht unter denselben Umständen.
Chlormagnesium	6° 5′	3° 30′
Chlorzink	10 0	4 30
Chlorstrontium	5 30	4 15
Salpetersaurem Ammoniak	3 45	4 55
Schwefelsaurem Eisen	4 20	6 0

Das Drehungsvermögen des Schwefelkohlenstoffs ist dreimal größer als das des Wassers, und halb so groß als das des Faraday'schen Glases; diese

Flüssigkeit ist deshalb sehr geeignet, bei diesen Versuchen die seltenen Gläser zu ersetzen.

Das Drehungsvermögen des Alkohols fand Bertin, wie seine Vorgänger, kleiner als das des Wassers.

Gesetz der Dicke und des Abstandes. Bei einer und derselben Substanz ändert sich die Stärke der Drehung mit der Dicke; allein das Gesetz dieser Drehung ist von verschiedenen Experimentatoren, welche sich mit dieser Aufgabe beschäftigt haben, verschieden angegeben worden. Einige sagen: die Drehung sei proportional der Dicke, nach Anderen ist dies nicht der Fall. Bertin hat das Verhältniß der Dicke zur Drehung einer genauen Prüfung unterworfen. 157

Betrachtet man nur die Wirkung eines Pols, so ist klar, daß sie von Schicht zu Schicht abnehmen muß, bis zu einer gewissen Entfernung, in welcher der Pol keine drehende Wirkung mehr ausüben kann. Da sich die Drehungen in den einzelnen Schichten addiren, so ist klar, daß, wenn man wachsende Dicken desselben Körpers dem Einfluß eines einzigen Pols unterwirft, die Drehungen mit der Dicke bis zu einer gewissen Gränze zunehmen, von welcher an eine Vermehrung der Dicke keinen merklichen Einfluß mehr ausübt.

Bringt man die Substanz zwischen zwei Pole, so ist klar, daß sich die Wirkung verdoppeln, daß aber das Gesetz derselben bleiben muß, wobei nur noch in Betracht zu ziehen ist, daß, wenn man die Pole stets mit dem Diamagneticum in Berührung erhält, man bei wachsender Dicke desselben die Pole selbst weiter auseinanderrücken muß, wobei ihre Stärke nothwendig abnimmt.

Zwischen den verschiebbaren Polen eines Becquerel'schen Apparates beobachtete unter anderen Bertin folgende zusammengehörige Dicken und Drehungen an Wasser:

Dicke der Schicht	Drehung
1 Centimeter	2° 0′
2 »	3 30
3 »	4 25
13 »	5 0
15 »	5 0

wodurch die oben angedeutete Ansicht gerechtfertigt erscheint.

Um zu einem bestimmten Gesetze zu kommen, untersuchte Bertin zunächst die Wirkung, welche ein kräftiger (Elektro-) Magnetpol auf dasselbe Stück eines Diamagneticums in verschiedenen Entfernungen hervorbrachte. Die folgende Tabelle enthält die Resultate einer in dieser Beziehung angestellten Beobachtungsreihe:

Versuche mit Faraday'schem Flintglase 38,9mm dick.

Abstand des Glases von dem Pol.	Beobachtete Drehung.	$\frac{y'}{y}$	Berechnete Drehung.	Unterschied zwischen der berechneten und beob. Drehung.
0mm	11° 12′		11° 12′	0′
1	11 0	0,9821	10 56	— 4
2	10 25	0,9470	10 44	+ 19
3	10 7	0,9712	9 57	— 10
4	9 50	0,9719	9 51	+ 1
5	9 30	0,9661	9 35	+ 5
6	9 20	0,9824	9 16	— 4
7	9 47	0,9417	9 4	— 17
8	8 35	0,9772	8 34	— 1
9	8 20	0,9709	8 22	+ 2
10	7 55	0,9508	8 6	+ 11

Man übersieht leicht, daß, wenn man die Entfernungen in arithmetischer Reihe wachsen läßt, alsdann die entsprechenden Drehungen in geometrischer Reihe abnehmen; denn wenn man die nächstfolgende Drehung durch die vorhergehende dividirt, so erhält man sehr nahe denselben Quotienten, wie man aus der dritten Columne obiger Tabelle ersieht. Bezeichnen wir durch A die im Contact mit dem Pole vom Flintglas erzeugte Drehung, und mit Ar die von demselben in 1 Millimeter Abstand erzeugte, so ist die Wirkung in x^{mm} Abstand

$$y = Ar^x.$$

Nach dieser Formel sind die Werthe in der vierten Columne der obigen Tabelle berechnet, indem man $r = 0,97587$ setzte, was nahezu dem Mittel aus den Quotienten der ersten Versuchsreihe gleich ist.

Man sieht, daß die Differenzen zwischen den beobachteten und den berechneten Drehungen innerhalb der Beobachtungsfehler fallen, daß also die Versuche das durch die Gleichung $y = Ar^x$ ausgedrückte Gesetz rechtfertigen.

Diese Formel wird zu einem Gesetze führen, welches die Drehung mit der Dicke verknüpft, vorausgesetzt, daß jede einzelne Schicht eines Körpers dieselbe Einwirkung erleidet, wie wenn sie allein da wäre.

Um sich davon zu überzeugen, daß dies wirklich der Fall ist, brachte Bertin zwei Flintgläser in Contact zwischen die beiden Pole in bestimmten Lagen und beobachtete die Drehungen, die von den beiden Gläsern zusammen und einzeln in der Anfangs angenommenen Lage ausgeübt wurden. Es ergab sich,

daß die erstere Drehung stets die Summe der beiden anderen ist. Folgendes sind einige der von Bertin in dieser Beziehung gemachten Beobachtungen:

Flintgläser.		Drehungen bewirkt von den Flintgläsern		Unterschied zwischen der dritten Zahl und der Summe der beiden ersten.
		einzeln.	zusammen.	
Faraday'sches	18,3^{mm} dick	8° 10′	25° 10′	— 5′
»	38,9	17 5		
»	38,9	12 15	19 32	+ 12′
Gemeines	43,5	7 5		

Die Wirkung eines Pols auf eine Schicht eines Körpers hängt also nach einem bekannten Gesetz allein von der Entfernung dieser Schicht vom Pole ab. (Bei dem Magnetisiren eines Eisenstabes, der in die Nähe eines Magnetpols gehalten wird, findet bekanntlich ein anderes Verhalten Statt.)

Denken wir uns einen diamagnetischen Körper, welcher e Millimeter lang ist und mit der einen Endfläche einen Magnetpol berührt, in Schichten von 1^{mm} Dicke zerlegt, bezeichnen wir ferner die durch den Pol in der ersten Schicht hervorgebrachte Drehung mit c, so ist die in der zweiten cr, die in der dritten cr^2 u. s. w., die in der letzten Schicht endlich cr^{n-1}; die im ganzen Körper hervorgebrachte Drehung ist also

$$c + cr + cr^2 + cr^3 + \ldots cr^{n-1} = c\,(1 + r + r_2 + \ldots r^{n-}$$

$$= c\,\frac{1 - r^n}{1 - r}.$$

Derselbe Körper erleidet x^{mm} weit vom Pole entfernt, die Drehung

$$y = c\,\frac{1 - r^n}{1 - r}\,r^x.$$

Wenn der Körper gleichzeitig der Einwirkung der beiden Pole ausgesetzt ist, so wird die dadurch bewirkte Drehung durch die Formel

$$z = c\left(\frac{1 - r^n}{1 - r}\right)(r^x + r^{d-n-x})$$

ausgedrückt, wenn d die Entfernung der beiden Pole bezeichnet. Bertin fand die aus seiner Formel gezogenen Consequenzen durch zahlreiche Versuche bestätigt.

In dieser Formel scheint r weder von der Intensität des Magnetismus, noch von der Natur des Körpers abzuhängen; dagegen hängt c von beiden ab.

Wie c mit der Intensität des Magnetismus variirt, ist noch zu untersuchen; Bertin's Versuche zeigen aber, welches auch sonst das Gesetz sein mag, daß der Coefficient c bei einer Veränderung der magnetischen Intensität für alle

Substanzen in gleichem Verhältniß sich ändert. Mit einem Becquerel'schen Elektromagneten wurden z. B. bei einer bestimmten Stromstärke die beiden in der ersten Horizontalreihe der folgenden Tabelle stehenden Drehungen beobachtet; die folgenden bei zwei anderen Stromstärken.

Faraday'sches Flintglas 18,3mm dick.	Schwefelkohlenstoff 10mm dick.	Verhältniß der Drehungen.
7° 42′	3° 18′	0,43
13 48	6 0	0,43
19 0	8 18	0,43

Wie sich also auch die Intensität der Pole ändern mag, so bleibt das Verhältniß zwischen den Drehungen des Glases und des Schwefelkohlenstoffs doch stets dasselbe.

Bertin schlägt vor, die Größe *c* Coefficient der magnetischen Polarisation zu nennen. Setzt man diesen Coefficienten für das Faraday'sche Flintglas gleich 1, so ist er für

Gemeines Flintglas	0,53
Zinnchlorid	0,77
Schwefelkohlenstoff	0,74
Gelöstes Chlorzink	0,55
Gelöstes Chlorcalcium	0,45
Wasser	0,25
Alkohol 36° B	0,18
Aether	0,15

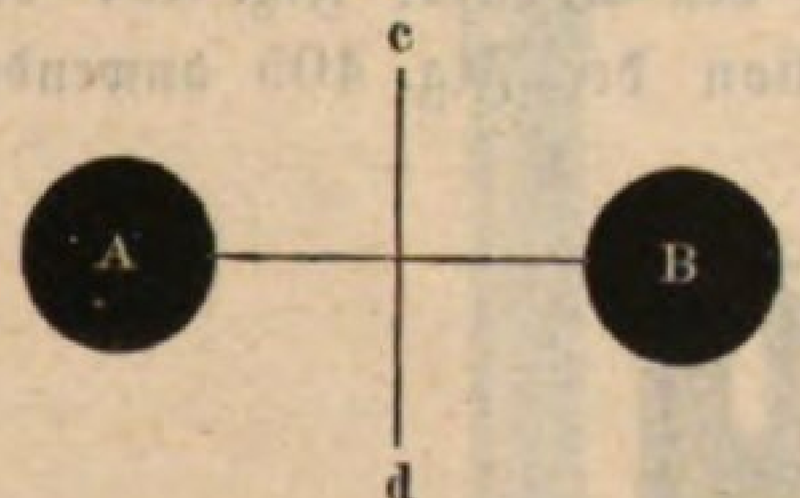
158 **Abstoßende Wirkung der Magnete auf nicht magnetische Körper.** Faraday war der Meinung, daß eine Einwirkung der Magnetpole auch auf undurchsichtige Körper stattfinden müsse, daß sie sich auch noch auf anderem als auf optischem Wege müsse darthun lassen. Er fand diese Ansicht durch spätere Versuche vollkommen bestätigt, indem er zeigte, daß die Magnetkraft auf alle Körper wirkt, daß aber die Wirkung auf magnetische Körper eine andere ist, als auf die diamagnetischen.

Bringt man einen Stab schweren Glases, an Seidenfäden so aufgehängt, daß seine Längenaxe horizontal ist und er sich in horizontaler Ebene frei drehen kann, zwischen die beiden Pole eines sehr kräftigen Elektromagneten (ein Pol muß für sich allein 50 Pfund tragen können), welcher so gestellt ist, daß seine beiden Pole nach oben gerichtet sind, so beobachtet man die merkwürdige Erscheinung, daß sich der Glasstab rechtwinkelig zu der Verbindungslinie der bei-

den Pole stellt und, aus dieser Lage herausgebracht, nach einigen Schwingungen stets wieder in dieselbe zurückkehrt.

In Fig. 404 seien *A* und *B* die beiden nach oben gerichteten Pole eines vertical gestellten kräftigen Elektromagneten, so ist *cd* die Lage, welche der Glasstab einnimmt. Hätte man statt des Glasstabes einen Eisenstab zwischen den Polen aufgehängt, so hätte er sich in die Richtung gestellt, welche die Magnetpole verbindet.

Fig. 404.



Faraday nennt die Richtung *AB* die axiale, *cd* die äquatoriale Lage. Ein Eisenstab stellt sich also zwischen den beiden Magnetnadeln axial, der Glasstab stellt sich äquatorial.

Eine Menge anderer Körper geben dasselbe Resultat; besonders stark zeigt sich die Kraft, welche den Stab in die äquatoriale Lage führt, beim Phosphor und Wismuth. Auch auf Flüssigkeiten übt der Magnet diese Wirkung aus.

Flintglas stellt sich ebenfalls äquatorial; wenn aber eine Röhre daraus sehr dünnwandig ist, giebt sie für sich allein nur eine sehr schwache Wirkung. Wird sie nun mit Flüssigkeit gefüllt, so ist die Wirkung so stark, daß man nicht zu fürchten braucht, den Effect des Glases mit dem der Flüssigkeit zu verwechseln.

Damit ein Körper die äquatoriale Stellung einnehme, ist es nöthig, daß er nach einer Richtung mehr ausgedehnt sei, als nach allen anderen, daß er also eine längliche, stabförmige Gestalt hat. Hängt man eine Kugel oder einen Würfel von Phosphor oder Wismuth in der Mitte zwischen beiden Magnetpolen auf, so richtet sich dieser nicht; einem der Pole genähert, beobachtet man aber eine Abstoßung, welche auffallend einer schwachen elektrischen Abstoßung ähnelt.

Auf die diamagnetischen Körper wirken also kräftige Magnetpole abstoßend; durch diese Abstoßung erklärt sich nun auch leicht, warum Stäbe diamagnetischer Körper sich zwischen den beiden Magnetnadeln äquatorial stellen.

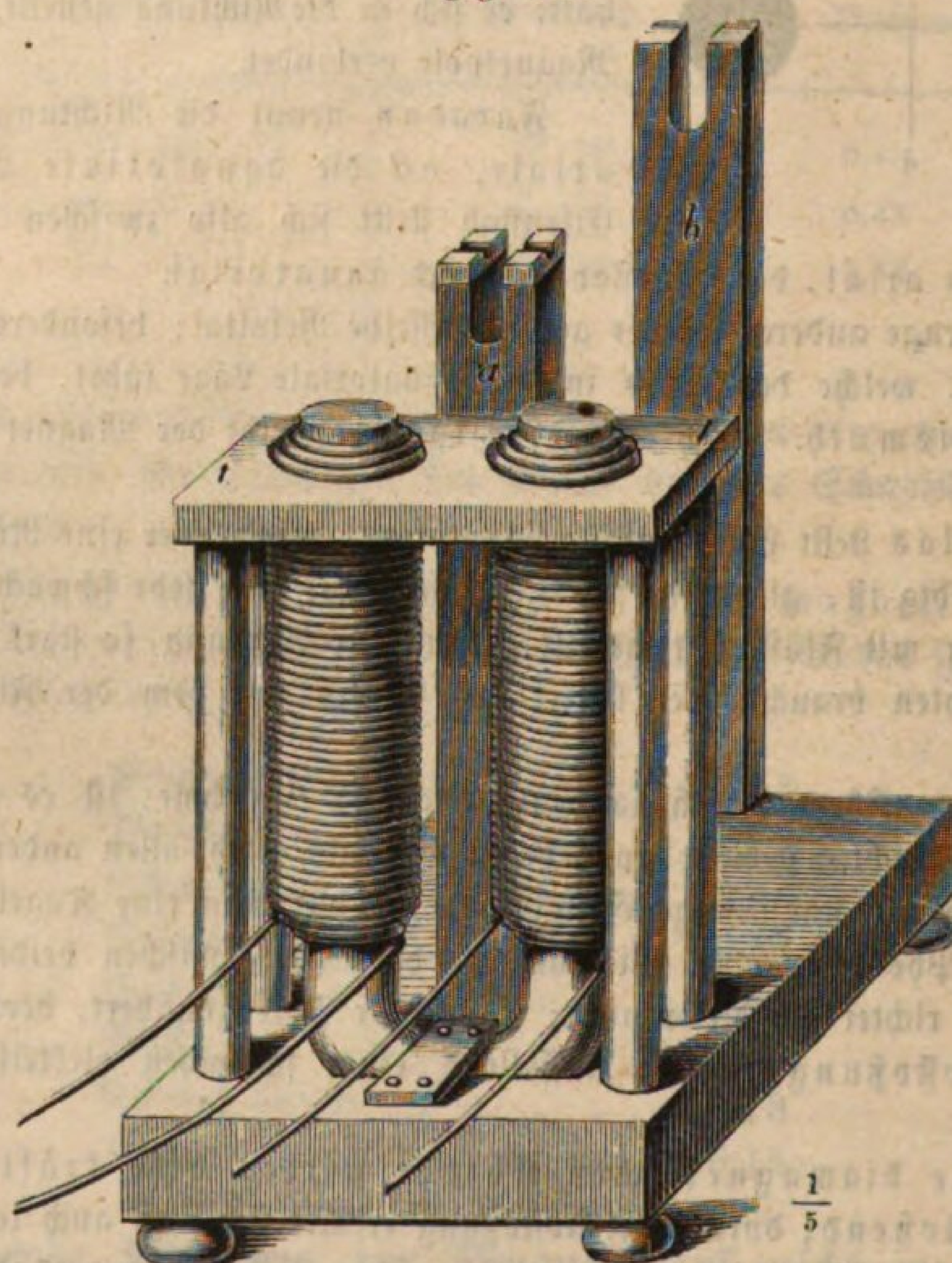
In Beziehung auf ihr Verhalten gegen den Magnetismus zerfallen also alle Körper in zwei Abtheilungen, in die magnetischen und die diamagnetischen. Die magnetischen stellen sich axial, die diamagnetischen stellen sich äquatorial.

Durch Anwendung sehr kräftiger Elektromagnete ergiebt sich, daß die Classe der magnetischen Körper zahlreicher ist, als man durch die gewöhnlichen Prüfungsmittel nachweisen konnte; es stellen sich nämlich sehr schwach magnetische Körper, die sonst keine Spur von Magnetismus zeigen, zwischen den Polen kräftiger Elektromagnete noch axial. Faraday fand durch dieses Mittel, daß außer den drei bekannten magnetischen Metallen auch noch Mangan, Chrom, Cer, Titan, Palladium, Platin und Osmium magnetisch sind.

Fast alle Eisenverbindungen erweisen sich zwischen den Polen des Elektromagneten als magnetisch, so z. B. grünes Bouteillenglas. Auch die Eisensalze sind magnetisch und stellen sich axial, mag man sie nun als Krystalle oder in aufgelöstem Zustande in dünnwandigen Glasröhren anwenden.

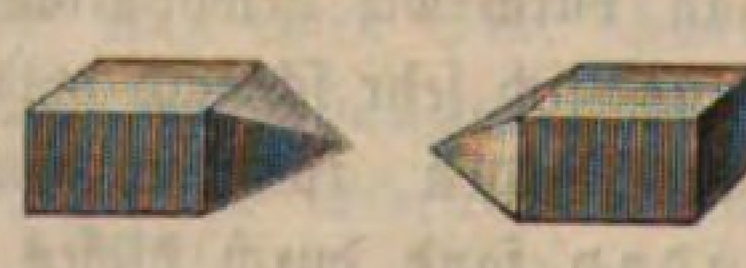
Zur Anstellung dieser Versuche kann man den Apparat Fig. 397 oder auch einen Elektromagneten von der Construction der Fig. 405 anwenden.

Fig. 405.



Um bei Anwendung des letzteren die Pole beliebig nähern zu können, setzt man auf jeden Pol ein Eisenstück von der Fig. 406 dargestellten Form auf, und zwar in der Weise, daß die beiden Spitzen, welche übrigens etwas abzurunden sind, einander zugekehrt erscheinen.

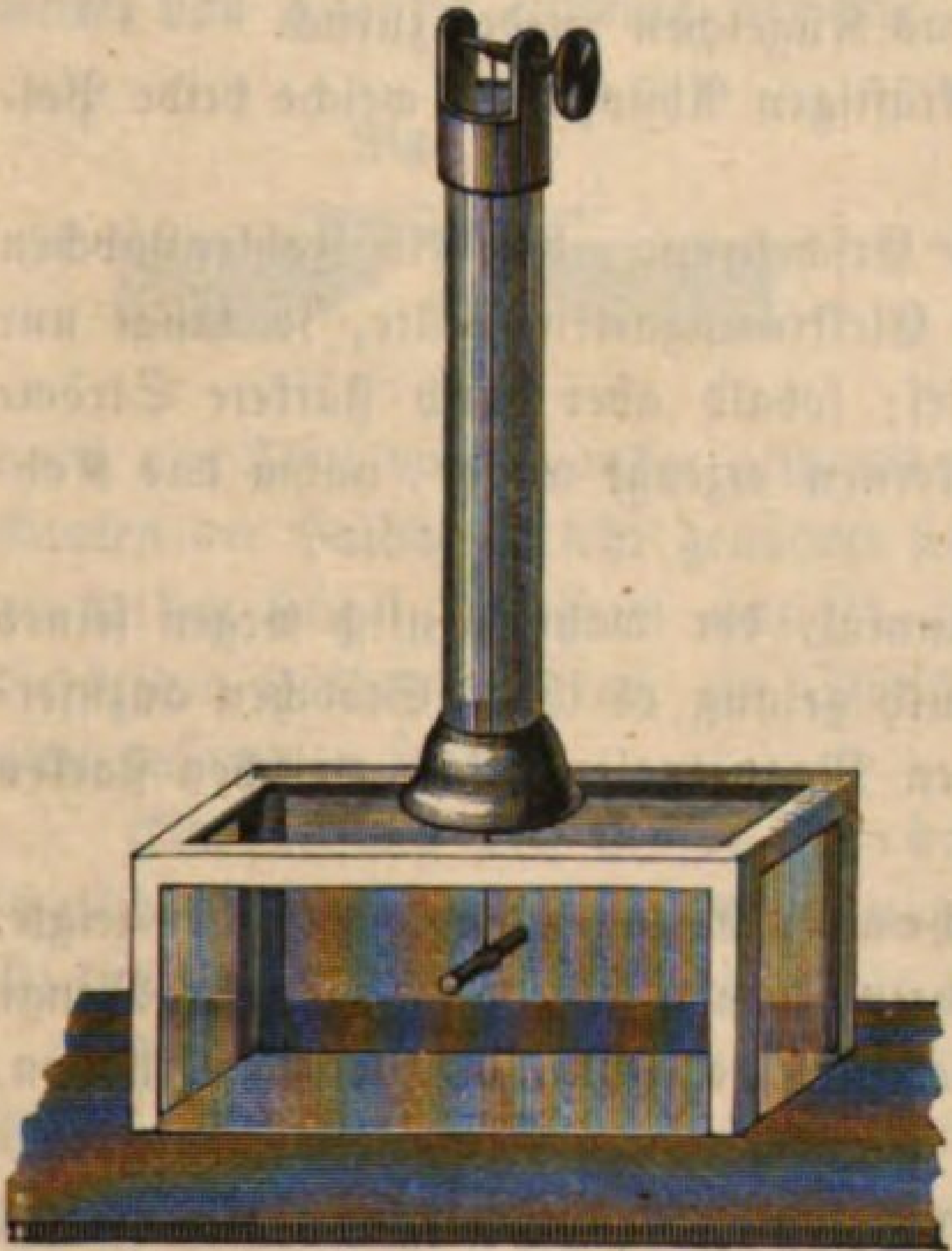
Fig. 406.



Um den zwischen beiden Polspitzen hängenden Körper vor Luftzug zu schützen, wird auf das Tischlein *t*, Fig. 405, aus welchem die Magnetpole hervorragen, ein Glaskasten gesetzt. Ein solcher Glaskasten von möglichst einfacher Einrichtung (die Kanten sind durch Papierstreifen verklebt) ist Fig. 407 dargestellt. Die obere Glasplatte hat in der Mitte ein Loch, über welchem sich eine Glasröhre erhebt; an dem oberen Ende

ist eine Fassung mit einem horizontalen drehbaren Stäbchen angebracht, an welchem der Seidenfaden hängt, der den zu untersuchenden Körper trägt. Durch Drehen dieses Stäbchens kann man den unten hängenden Körper beliebig heben und senken.

Fig. 407.



$\frac{1}{5}$

Die Glasröhre steckt unten in einer ringsum mit Tuch belegten Holzfassung, die auf die obere Glasplatte des Kästchens aufgeleimt ist; man kann also die ganze Glasröhre sehr sicher um ihre verticale Axe umdrehen und dadurch das Stäbchen in die beliebige Lage bringen. Es ist zweckmäßig, das Stäbchen in eine Schleife des Fadens zu befestigen und nicht in ein Schiffchen zu legen, weil die Magnetpole schon auf die Substanz des Schiffchens wirken, wodurch die Resultate unsicher werden.

Hat man den zu prüfenden Körper gehörig aufgehängt, und den Glaskasten auf das Tischlein *t* gesetzt, während die Kette noch nicht geschlossen ist, so läßt man nun das Stäbchen herab, bis es zwischen den beiden Spitzen in der Mitte hängt; die Entfernung der beiden Spitzen muß etwas größer sein als die Länge des Stäbchens. Wenn das Stäbchen in einer Lage zur Ruhe gekommen ist, welche ungefähr zwischen der axialen und äquatorialen in der Mitte liegt, so wird es, je nachdem seine Substanz magnetisch oder diamagnetisch ist, entweder nach der axialen oder äquatorialen Lage hingetrieben, sobald man die Kette schließt; begreiflicher Weise kommt aber das Stäbchen nicht sogleich in seiner neuen Gleichgewichtslage zur Ruhe, sondern es schwingt um diese Gleichgewichtslage mit einer Geschwindigkeit, die von der Stärke abhängt, mit welcher die Magnetpole einwirken. Bei einiger Stärke des Elektromagneten sind diese Oscillationen sehr lebhaft und unterscheiden sich dadurch sehr wesentlich von den äußerst langsamen Schwingungen des Stäbchens, welche eine Folge der schwachen Torsion des Seidenfadens sind; sobald man die Kette öffnet, oscillirt das Stäbchen wieder sehr langsam um seine frühere, durch den Faden bedingte Gleichgewichtsstellung.

Die Abstoßung diamagnetischer Körper durch die Magnetpole läßt sich am auffallendsten folgendermaßen zeigen. Man hänge an den Seidenfaden statt des Stäbchens eine kleine Kugel von ungefähr $^3/_4$ Linie Durchmesser, deren Substanz sehr stark diamagnetisch ist, also etwa ein Kügelchen von Wismuth. Die Eisenstücke Fig. 406 nähert man nun so weit, daß die Spitzen nur unbedeutend mehr von einander abstehen, als der Durchmesser des Kügelchens beträgt. So lange die Kette nicht geschlossen ist, kann man machen, daß das Kügelchen gerade in

der Mitte zwischen den beiden Spitzen hängt; sobald man aber die Kette schließt, wird das Kügelchen seitwärts zwischen den beiden Spitzen herausgetrieben, so daß der Faden, an dem es hängt, merklich von seiner verticalen Richtung abgelenkt ist. Beim Oeffnen der Kette fällt das Kügelchen wieder zurück.

Es ist dies ein Beweis einer sehr kräftigen Abstoßung, welche beide Polspitzen auf das Kügelchen ausüben.

Plücker beobachtete die auffallende Erscheinung, daß ein Kohlenstäbchen sich axial zwischen die Polspitzen eines Elektromagneten stellte, so lange nur ein schwacher Strom die Spiralen durchlief; sobald aber durch stärkere Ströme ein kräftiger Magnetismus in den Eisenkernen erzeugt wurde, nahm das Kohlenstäbchen die äquatoriale Stellung ein.

Durch Zusammenschmelzen von Stanniol, der wahrscheinlich wegen seines Eisengehaltes magnetisch war, mit Wismuth gelang es ihm, Stäbchen anzufertigen, die sich gleichfalls zwischen schwachen Magnetpolen axial, zwischen starken äquatorial stellten.

Es ist dies die Folge eines ganz schwachen Eisengehaltes. Plücker zeigte, daß überhaupt die magnetischen Substanzen, denen eine ganz geringe Menge Eisen beigemischt ist, sich schwachen Magnetpolen gegenüber magnetisch verhalten, von stärkeren aber abgestoßen werden.

Diese auf den ersten Anblick sehr auffallende Erscheinung findet eine sehr einfache Erklärung durch die von mir nachgewiesene Thatsache, daß das Eisen nicht über eine bestimmte Grenze hinaus magnetisirt werden kann, und daß für geringe Eisenmassen schon schwache magnetisirende Kräfte hinreichen, das Maximum des Magnetismus zu erzeugen. Bedenken wir nun, welch geringe Massen magnetischer Substanzen in den Körpern vertheilt sind, mit welchen Plücker experimentirte, so dürfen wir wohl annehmen, daß dieselben schon bei geringerer Stromstärke nahe bis zu ihrem Maximum magnetisirt sind, daß also die Variationen der Stromstärke keinen bedeutenden Einfluß mehr auf sie ausüben können, während der Diamagnetismus der ungleich größeren Masse nicht magnetischer Substanzen der Stromstärke proportional wächst.

Sehr interessante Erscheinungen beobachtete Plücker, als er Flüssigkeiten in folgender Weise dem Einfluß der Pole eines Elektromagneten aussetzte. Auf jeden der Pole wurde ein eiserner Halbanker von der Fig. 408 dargestellten Form gelegt, und zwar so, daß die zugeschärften Seiten einander zugekehrt sind. Auf den Zwischenraum zwischen den beiden Halbankern wurde nun ein Uhrglas gesetzt, welches die Flüssigkeit enthielt.

Fig. 408.



Eisenfeilspäne häufen sich an den Kanten der Magnetstäbe am stärksten an, und es ließ sich erwarten, daß magnetische Flüssigkeiten, in der erwähnten Weise über die Pole des Elektromagneten gebracht, sich über den Kanten der Halbanker anhäufen würden. Der Versuch bestätigte dies vollkommen. In das Uhrglas wurde eine concentrirte Auflösung von Eisenchlorid gebracht, welche einen Kreis von 25^{mm} Durchmesser bildete. Sobald durch Schließung

des Stromes die Halbanker in Magnetpole verwandelt werden, krümmt sich die vorher ebene Oberfläche der Flüssigkeit in der Weise, daß sie über den Kanten der Halbanker aufsteigt und hier kleine Hügel bildet. Sind die Halbanker etwas weiter von einander entfernt, wie Fig. 409, so bilden sich zwei Hügel, welche

Fig. 409.

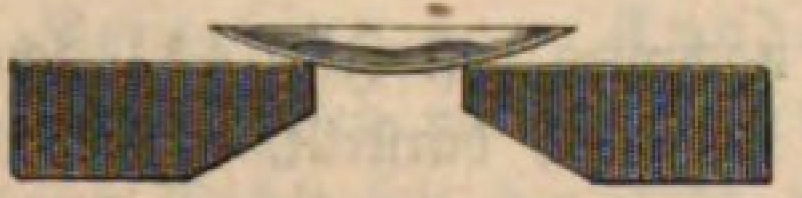


Fig. 410.



durch ein Thal von einander getrennt sind; wenn aber die beiden zugewendeten Kanten der Halbanker sehr genähert sind, wie dies Fig. 410 darstellt, so fallen die beiden Hügel in einem einzigen zusammen. In letzterem Falle muß man die beiden Halbanker durch ein Stückchen Holz auseinander halten, damit sie nicht zusammen fahren.

Eine Lösung von Eisenchlorür zeigte sich schwächer magnetisch, noch schwächer eine solche von Eisenvitriol. Eine Lösung von salpetersaurem Nickeloxyd ist stärker magnetisch als die Lösung des Eisenvitriols.

Plücker unterwarf nun auch diamagnetische Flüssigkeiten demselben Verfahren. Als die Anker bis auf 2,5 Millimeter genähert waren, dehnte sich die Flüssigkeit nach der axialen Richtung aus, während sie sich nach der äquatorialen zusammenzog. Oberhalb der Mitte zwischen den beiden Halbankern bildete sich statt des früheren Bergrückens ein in der Aequatorialebene sich hinziehendes Thal. — Bei diamagnetischen Flüssigkeiten zeigt sich also ein Zurückweichen von den Kanten der Halbanker, doch sind die Wirkungen schwächer als bei magnetischen Flüssigkeiten.

Stärkere Wirkungen als bei Anwendung eines Uhrglases erhält man, wenn man kleinere Quantitäten von Flüssigkeit auf ein Glimmerblatt bringt und dies auf die etwa 3^{mm} von einander entfernten Halbanker legt.

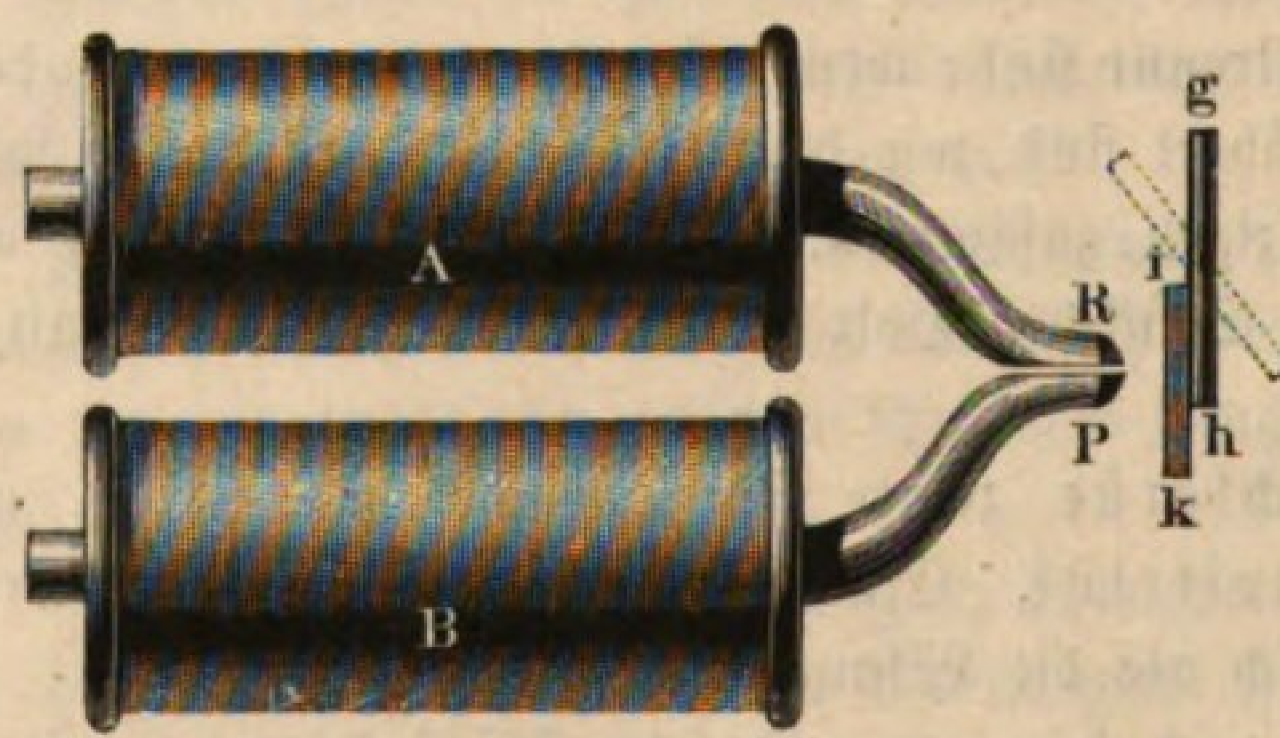
Theorie des Diamagnetismus. Das Verhalten der diamagnetischen Körper gegen Magnetpole ließe sich wohl, wie Faraday bemerkt, durch 159
die Annahme erklären, daß in einem solchen Körper, also z. B. in einem Wismuthstäbchen, durch die Nähe eines Magnetpols Ströme erzeugt werden, welche den Ampère'schen Strömen des Magneten entgegengesetzt sind, so daß gleichnamige Pole einander gegenüber zu stehen kämen, während in magnetischen Metallen mit dem Magneten gleichgerichtete Ströme gebildet werden, so daß sich ungleichnamige Pole einander gegenüberstehen. Dies würde den Strömen in diamagnetischen Körpern gleiche Richtung geben mit denen, welche beim Beginn des inducirenden Stromes in benachbarten Leitern inducirt werden, und in den magnetischen Körpern gleiche mit denen, welche beim Aufhören desselben inducirenden Stromes entstehen. Faraday hat diese Ansicht aber weder ausgebildet noch festgehalten, sondern gegen die von einer indifferenten Repulsion vertauscht.

Eine Wismuthkugel wird sowohl vom Nordpol als auch vom Südpol

eines Magneten abgestoßen. Wenn aber hier eine indifferente Abstoßung stattfände, so müßte ein Nordpol und ein Südpol, von derselben Seite her einer Wismuthkugel genähert, sich in ihren abstoßenden Wirkungen unterstützen; Reich und später Tyndal haben aber gezeigt, daß die Wirkungen der beiden Pole sich in diesem Falle neutralisiren, daß also die frühere Ansicht Faraday's die richtige ist.

Der Apparat, mit welchem Tyndal dies nachwies, ist Fig. 411 schematisch darstellt. *A* und *B* sind zwei kräftige Magnetisirungsspiralen, in denen Stäbe von weichem Eisen stecken, die auf der einen Seite weiter hervorragen und so umgebogen sind, wie die Figur zeigt. Die nur halb cylindrischen Enden *P* und *R* dieser Eisenstäbe sind mit ihren flachen Seiten ganz nahe zusammengerückt. Diesen Polen gegenüber ist nun ein Wismuthstab *gh* an einem Seidenfaden so aufgehängt, daß er durch eine schwache Torsion gegen eine Glasplatte *ik* angedrückt wird.

Fig. 411.



Wird nun ein Strom so durch die Windungen der beiden Spiralen gesandt, daß *P* und *R* gleichnamige Pole werden, so wird der Wismuthstab abgestoßen; wird aber alsdann der Strom in der einen Spirale umgekehrt, so daß *P* und *R* zu ungleichnamigen Polen werden, so findet gar keine Einwirkung auf das Wismuthstäbchen *gh* statt.

Tyndal schloß weiter, daß die diamagnetische Abstoßung im einfachen Verhältniß der Stromstärke wachsen müsse, wenn sie eine Wirkung des Magnetpols auf die unveränderte Substanz des diamagnetischen Körpers wäre, daß sie dagegen im quadratischen Verhältniß der Stromstärke wachsen müsse, wenn die Abstoßung die Folge einer durch den Magnetpol im Wismuth erst hervorgerufenen Polarität ist. Tyndal zeigte nun durch Versuche, daß in der That das letztere der Fall ist. Diese Versuche wurden in folgender Weise angestellt. Auf die Pole eines verticalstehenden Elektromagneten wurden die Halbanker so aufgelegt, daß sie ihre flachen Seiten einander zukehrten, wie dies Fig. 412 andeutet. Ein zwischen ihnen aufgehängter Wismuthstab stellt sich äquatorial, sobald ein Strom durch die Umwindungen des Elektromagneten hindurchgesandt wird. Aus dieser äquatorialen Stellung etwas herausgebracht, oscillirt er um diese Gleichgewichtslage, und zwar um so schneller, je größer die abstoßende Kraft ist, mit welcher die Magnetpole das Wismuthstäbchen abstoßen; aus

Fig. 412.



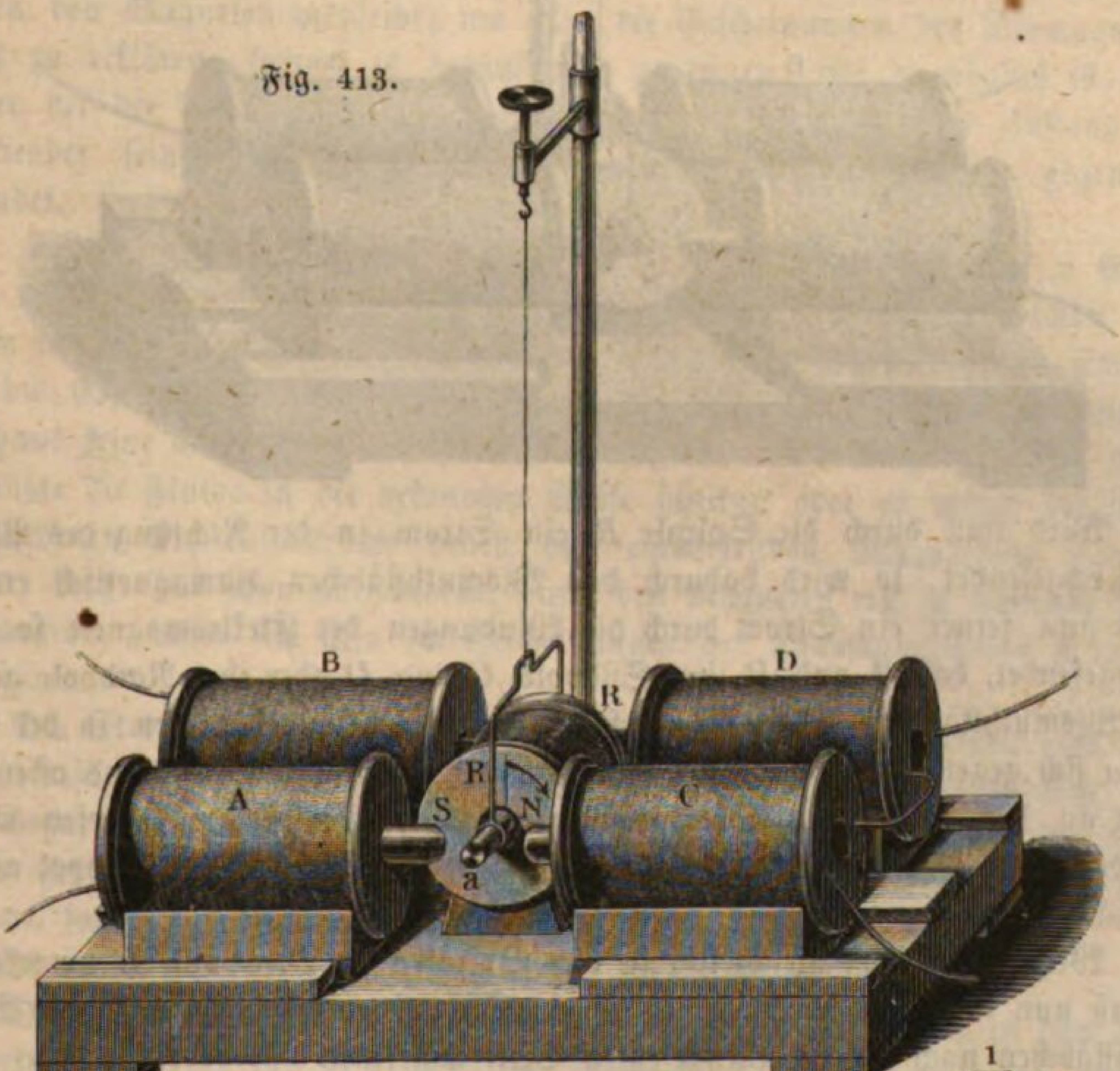
der Zahl der Schwingungen, welche das Wismuthstäbchen in einer bestimmten Zeit vollendet, kann man also einen Schluß auf die Stärke jener Abstoßung ziehen. Man braucht also nur den Elektromagneten der Reihe nach durch verschieden starke Ströme zu erregen und jedesmal die entsprechenden Oscillationen des Wismuthstäbchens zu beobachten, um zu dem bereits oben angedeuteten Resultate zu gelangen.

Reich hat das von Tyndal aufgefundene Gesetz auf einem ganz anderen Wege, und zwar mit Hülfe der Drehwage, deren er sich zur Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde bedient hatte (siehe kosmische Physik S. 192), vollkommen bestätigt gefunden (Pogg. Ann. LCVII, 283).

Alle bis jetzt besprochenen diamagnetischen Abstoßungen deuten darauf hin, daß in einem diamagnetischen Körper unter dem Einfluß einer magnetisirenden Kraft eine magnetische Polarität hervorgerufen wird, welche derjenigen entgegengesetzt ist, welche unter denselben Umständen ein Eisenstab würde angenommen haben.

Daß in der That eine solche Polarität in einem diamagnetischen Körper durch magnetisirende Kräfte inducirt wird, hat am unzweifelhaftesten Tyndal mit Hülfe des folgenden Apparates, Fig. 413, nachgewiesen (Phil. Trans. 1855).

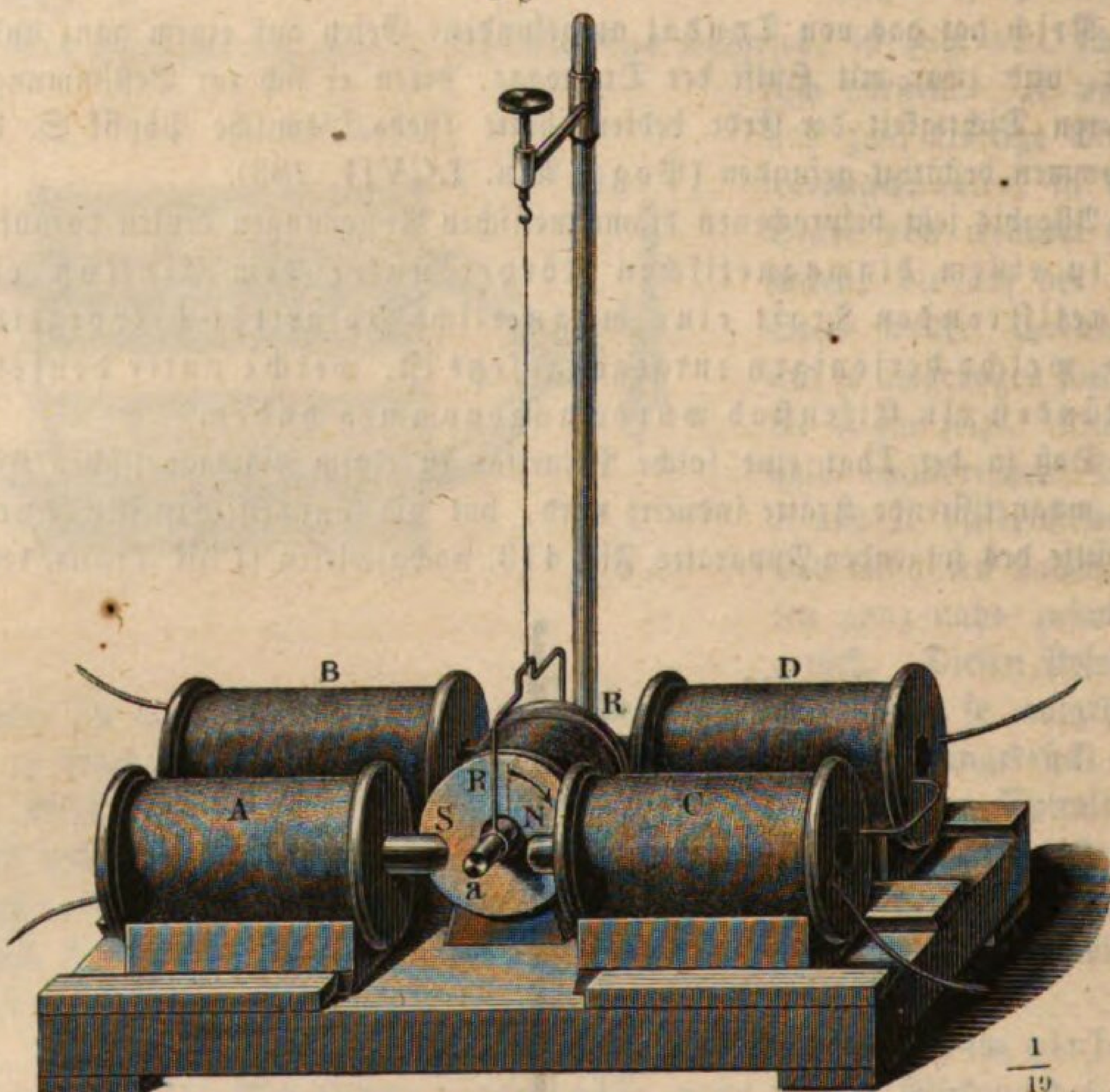
Fig. 413.



Ein Wismuthstäbchen, welches in einem aus Silberdraht verfertigten, an einem Seidenfaden hängenden Bügel steckt, schwebt frei in der inneren Höhlung

der kurzen, aber dicken Magnetisirungsspirale *R*. Das vorn aus der Spirale *R* hervorragende Ende *a* des Wismuthstäbchens befindet sich in der Mitte zwischen den einander zugekehrten Polen der Elektromagnete *A* und *C*, während das hintere Ende in gleicher Weise zwischen den Polen der Elektromagnete *B* und *D* schwebt.

Fig. 414.



Wird nun durch die Spirale *R* ein Strom in der Richtung des Pfeils hindurchgesendet, so wird dadurch das Wismuthstäbchen diamagnetisch erregt. Wird nun ferner ein Strom durch die Windungen der Elektromagnete so hindurchgesendet, daß *A* und *B* ihre Südpole, *C* und *D* aber ihre Nordpole gegen das Wismuthstäbchen kehren, so erfolgt eine Ablenkung desselben in der Art, daß *a* sich gegen *S* hin bewegt. *a* ist demnach ein Nordpol, während offenbar, wenn an der Stelle des Wismuthstäbchens ein Eisenstäbchen gewesen wäre, bei der angegebenen Richtung des Stroms in *R* sich in *a* ein Südpol gebildet hätte.

Wird der Strom gleichzeitig in vier Spiralen *A*, *B*, *C* und *D* umgekehrt, so daß nun in *S* ein Nordpol, in *N* ein Südpol entsteht, so wird das Wismuthstäbchen nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt.

Zum Gelingen dieses Versuchs ist es nothwendig, daß die magnetisirende Kraft der Spirale *R* überwiegend ist über die Wirkung der Elektromagnete *A*, *B*, *C* und *D*, welche sonst die von *R* hervorgebrachte Polarität des Wismuth-

stäbchens umkehren würden. Wenn der Strom von 15 Bunsen'schen Bechern durch die Spirale R ging, so waren nur fünf solcher Becher zur Erregung der vier Elektromagnete nöthig.

Zur Erklärung der unter dem Einfluß magnetisirender Kräfte in diamagnetischen Körpern sich bildenden Polarität hat Weber folgende Theorie aufgestellt:

Nähert man einem Magnetpol einen Leiter, so werden in demselben nach den bekannten Gesetzen der Induction Ströme gebildet, welche den Ampère'schen Strömen des Magneten entgegengesetzt sind; wird z. B. ein Kupferstäbchen dem Nordpol eines Magneten genähert, so wird das dem Magneten zugekehrte Ende des Kupferstücks durch diese inducirten Ströme, wenn auch nur vorübergehend, selbst zu einem Nordpol.

Durch Annäherung gegen einen Magnetpol wird also ein Wismuthstab durch Induction in einen polaren Zustand versetzt, welcher demjenigen ganz gleich ist, welchen wir zur Erklärung der diamagnetischen Erscheinungen annehmen müssen. Bekanntlich sind aber die Ströme, welche in der Masse eines Leiters inducirt werden, wenn er einem Magnetpole genähert wird, nur vorübergehend, sie verschwinden alsbald, wenn der Leiter ruhig in seiner Stellung gegen den Magneten verbleibt; um also die Erscheinungen des Diamagnetismus zu erklären, kommt es darauf an, zu zeigen, wie es möglich ist, daß dieser bei der Annäherung gegen den Magnetpol hervorgerufene Zustand ein bleibender sein kann, so lange sich der Leiter dem Magnetpol gegenüber befindet.

Wären in dem Wismuth magnetische Fluida vorhanden, wie im Eisen, oder wäre, was auf dasselbe hinauskommt, jedes Wismuthmolekül schon von einem continuirlichen Strome umkreist, wie wir uns die Ampère'schen Ströme um die Eisenmoleküle denken, so könnte die Einwirkung eines Magnetpols durchaus keine andere Wirkung hervorbringen, als wie beim Eisen auch, d. h. er müßte die Fluida in der bekannten Weise scheiden oder er müßte die schon vorhandenen Molekularströme denen des einwirkenden Magnetpols parallel stellen, kurz, auf schon vorhandene, durch den Magneten erst zu richtende Molekularströme lassen sich also die Erscheinungen des Diamagnetismus nicht zurückführen.

Die Ströme, welche dem diamagnetischen Körper seine Polarität ertheilen, müssen also erst bei der Annäherung gegen einen Magnetpol, oder dadurch, daß der Magnetismus in demselben entsteht, gebildet werden; sie dürfen aber nicht vorübergehend sein, wie die gewöhnlichen in der Masse von Leitern inducirten Ströme, sondern sie müssen beharrlich sein, sie müssen so lange andauern, als der diamagnetische Körper dem Magnetpole gegenüber bleibt.

Dies ist nun durch die Annahme zu erklären möglich, daß in dem diamagnetischen Körper Molekularströme inducirt werden, d. h. Ströme, welche die einzelnen Moleküle des diamagnetischen Körpers umkreisen, sich aber nicht in der Masse desselben, von einem Molekül zum anderen fortschreitend, bewegen.

Der Unterschied zwischen Strömen, welche durch Leiter in größeren Kreisen sich bewegen, und den Molekularströmen besteht nur darin, daß die strömende Elektricität der ersteren beim Vorübergehen an den Molekülen des Leiters einen mehr oder minder bedeutenden (Leitungs-) Widerstand zu überwinden hat, wodurch ihre lebendige Kraft so schnell entzogen wird, daß sie in einer unmeßbar kleinen Zeit zur Ruhe gelangen muß, wenn ihr der erlittene Verlust nicht durch fortdauernde elektromotorische Kräfte immer wieder ersetzt wird. Das Gegentheil gilt von den Molekularströmen, welche nicht durch den Leiter von Molekül zu Molekül fortgehen, sondern sich um ein einziges Molekül herumbewegen, für die also jener Grund der Entziehung der lebendigen Kraft wegfällt. Diese Ströme beharren also ohne elektromotorische Kraft in gleicher Intensität.

Wirkt nun eine inducirende Kraft auf einen Körper, so können dadurch zweierlei Ströme gebildet werden: die gewöhnlichen Inductionsströme, welche sich durch die Masse des Körpers bewegen und alsbald verschwinden, und inducirte Molekularströme, welche auf ihrem Wege um die Moleküle herum keinen Widerstand finden und ungeschwächt fortdauern müssen, bis in Folge einer neuen entgegengesetzten Induction neue entgegengesetzte Molekularströme hinzukommen, welche die älteren aufheben.

Nach der Weber'schen Theorie des Diamagnetismus sind also die hierher gehörigen Erscheinungen durch Molekularströme zu erklären, welche in dem Diamagneticum durch Annäherung gegen einen Magnetpol oder dadurch inducirt werden, daß in einem benachbarten Pole der Magnetismus entsteht, und welche so lange fortdauern, bis das Verschwinden des Magnetismus in dem Magnetpole oder die Entfernung des Diamagneticums von demselben eine entgegengesetzte Induction bewirkt und dadurch die Wirkung der früheren aufhebt.

Die in größeren Kreisen sich bewegenden Inductionsströme können sich in Isolatoren nicht bilden; inducirte Molekularströme sind aber in ihnen wohl möglich, da ja auch Nichtleiter, z. B. schweres Glas, von den Magnetpolen abgestoßen werden und sich äquatorial stellen.

160 **Diamagnetismus der Flamme und der Gase.** Die früheren Versuche Faraday's über das Verhalten der Gase gegen Magnetpole gaben keine entscheidenden Resultate. — Bancalari fand zuerst, daß eine Flamme, zwischen die Pole eines Elektromagneten gestellt, im Augenblick der Herstellung des Stromes eine Abstoßung erleidet und bei Unterbrechung desselben wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückkehrt.

Zantedeschi, Faraday und Plücker haben weitere Versuche über den Diamagnetismus der Flamme angestellt. Plücker brachte zwischen die 3,5^{mm} von einander entfernten Polspitzen seines Elektromagneten eine ruhig brennende, keinen Ruß absetzende Talgkerze, und hielt dieselbe so zwischen die Polspitzen, daß sich diese in $^7/_8$ der ursprünglichen Höhe der Flammen befanden. Fig.

415 zeigt für diesen Fall die äquatoriale, Fig. 416 die axiale Ansicht der Flamme.

Fig. 415.



Fig. 416.



Als die Flamme gehoben wurde, so daß sich die Polspitzen in der Hälfte ihrer ursprünglichen Höhe befanden, nahm die Flamme in äquatorialer Richtung die Gestalt Fig. 417 an.

Fig. 417.



Fig. 418.



Endlich wurde die Talgkerze so weit gehoben, daß sich die beiden Polspitzen mit dem oberen Ende des Dochtes in gleicher Höhe befanden und die Flamme, durch die eisernen Polspitzen abgekühlt, nicht mehr mit vollem Lichte brannte. Als die Kette geschlossen wurde, erhielt sie nicht allein ihr früheres Licht wieder, sondern sie brannte noch stärker, indem sie heruntergedrückt wurde und in der Aequatorialansicht die Form Fig. 418 annahm.

Bei diesen Versuchen mit der Talgkerze brannte dieselbe, ohne Ruß abzusetzen. Ein stark rußendes Talglicht bietet ganz andere Erscheinungen dar. Wenn sich insbesondere die beiden Polspitzen in $^3/_4$ der Höhe der ursprünglichen Flamme befanden, so ergab sich beim Schließen der Kette die in Fig. 419 (a. f. S.) dargestellte Aequatorialansicht. Der aufsteigende graue Qualm breitete sich in der Aquatorialebene bedeutend aus. Er wurde auswärts scharf von einer Parabel begrenzt, deren Scheitel genau in die Mitte zwischen die beiden Polspitzen fällt.

Aehnliches zeigt eine rußende Terpentinölflamme, der von einem brennenden Stück Zunder aufsteigende Rauch 2c.

Alle die verschiedenen Formen, welche die Flammen unter dem Einfluß von Magnetpolen annehmen, erklären sich aus der Annahme, daß die Substanz

der Flammen durch die Magnetpole abgestoßen wird, und daß diese Abstoßung hauptsächlich von der Axenlinie aus nach den Seiten erfolgt; es wird also durch diese Versuche bewiesen, daß die verschiedenen untersuchten Flammen sich diamagnetisch verhalten und zwar, daß sie in höherem Grade diamagnetisch sind als die umgebende Luft.

Fig. 419.



Um das Verhalten verschiedener Gasarten bei gleicher Temperatur (der Temperatur der umgebenden Luft) zu prüfen, schlug Faraday folgendes Verfahren ein. Das zu prüfende Gas befand sich in einer Woulf'schen Flasche. In die eine Oeffnung derselben wurde eine fast bis zum Boden der Flasche hinabragende Röhre befestigt und durch diese wurde das Wasser eingegossen, welches das Gas austreiben sollte. Der Zufluß des Wassers war so regulirt, daß in der Minute 12 Cubikzoll Wasser hier ein-, also ebenso viel Gas durch die andere Oeffnung ausströmte. Das Gas wurde durch eine Glasröhre zu der Stelle geleitet, an welcher es ausströmen sollte. Die Ausströmungsöffnung hatte ungefähr $^1/_8$ Zoll Durchmesser; sie befand sich unter den Polspitzen, wenn man mit einem leichteren, über den Polspitzen, wenn man mit einem schwereren Gas experimentirte, so daß ein in der Mitte zwischen den Polspitzen aufsteigender oder niedersinkender Gasstrom hervorgebracht wurde.

In der Ausströmungsröhre befand sich ein Stück Fließpapier, welches mit concentrirter Salzsäure befeuchtet war, so daß das ausströmende Gas immer etwas Salzsäure mit sich führte. Um nun den Weg zu zeigen, welchen die aufsteigende oder niedersinkende Gassäule nimmt, verfuhr Faraday in folgender Weise: Ueber oder unter dem Mittelpunkte der Linie, welche die beiden Polspitzen verbindet, war eine an beiden Enden offene Glasröhre, so lang und so dick wie ein Finger, angebracht; eine gleiche Röhre in äquatorialer Richtung auf jeder Seite derselben, so also, daß die Ebene, welche die Axen dieser drei verticalen Röhren verbindet, äquatorial steht. Jede dieser Röhren enthielt ein Stück Fließpapier, welches in Ammoniakflüssigkeit getaucht war, so daß Nebel entstehen mußten, wenn das salzsäurehaltige Gas durch eine solche Röhre hindurchging.

Strömte das Gas frei auf oder ab, so ging es durch die mittlere Röhre; erschien es aber nach Schließung der Kette in den Seitenröhren, so war das ein Zeichen, daß es diamagnetisch gegen Luft ist.

In dieser Weise geprüft, zeigten sich diamagnetisch: Stickstoff (schwach), Wasserstoff, Kohlensäure, Kohlenoxydgas, Stickstoffoxydul, ölbildendes Gas, Steinkohlengas, Chlorwasserstoffsäure, Jodwasserstoffsäure, Ammoniak, Chlor, Jod, Brom, Cyan. — Sauerstoff zeigte sich weniger diamagnetisch als Luft. — Stickstoffoxyd und salpetrigsaures Gas gaben keine entscheidenden Resultate.

Faraday änderte nun den Versuch dahin ab, daß er den Versuchsraum gegen die äußere Luft absperrte und ihn mit Kohlensäure, mit Steinkohlengas oder mit Wasserstoffgas füllte, so daß die zu untersuchenden Gase nicht in Luft, sondern in Kohlensäure, Steinkohlengas oder Wasserstoffgas ausströmten.

Auf diese Weise untersucht, verhielt sich das Sauerstoffgas magnetisch gegen alle anderen Gase.

Intensitätsbestimmung magnetischer und diamagnetischer Kräfte. 161 Die Größe der Anziehung, welche magnetische Flüssigkeiten durch Magnetpole erfahren, hat Plücker in folgender Weise gemessen: Zur Aufnahme der Flüssigkeit dient ein Uhrglas mit abgeschliffenem Rande; es wird bis über diesen Rand mit der Flüssigkeit gefüllt und dann dieselbe mit einem als Deckel dienenden matten Glase abgestrichen, so daß man sicher ist, daß die eingeschlossene Flüssigkeit bei gleicher Form stets dasselbe Volumen einnimmt.

Um die Stärke der Anziehung zu bestimmen, wird das Uhrglas mit seinem Inhalte und seinem Deckel in einen dünnen Ring von Messing gebracht, der an drei etwa 200 Millimeter langen Seidenfäden an einer Wage hängt, welche hinreichend fein ist, um 1 Milligramm anzugeben, und an der, außer der Axe des Wagbalkens, kein Eisen sich befindet. Um die Wirkung bei schwachen Kräften zu verstärken, wird das Glas nicht mit einem einzelnen Pole in Berührung gebracht, sondern es werden die beiden Halbanker, welche Fig. 408 dargestellt sind, so auf die Pole gelegt, daß die einander zugekehrten Enden derselben noch 6^{mm} von einander abstanden: die Wage wurde genau so adjustirt, daß das Uhrglas mit dem Ringe, wenn die Wage tarirt ist, gleichzeitig jeden der beiden Halbanker eben berührt. Nach Erregung des Magnetismus wird das Uhrglas mit seinem Inhalt angezogen, und um es von den Halbankern abzureißen, wird auf die Wagschale der anderen Seite feines Bleischrot und dann feiner Sand aufgelegt. Das Gewicht des zugelegten Schrotes oder Sandes ist das Maß für die jedesmalige magnetische Kraft.

Das leere Uhrglas selbst nebst dem Messingringe zeigte sich magnetisch; als der Elektromagnet durch 6 Platinelemente erregt wurde, ward es noch mit einer Kraft von 0,4 Gramm angezogen.

Als das Uhrglas mit Wasser gefüllt wurde, betrug die Anziehung noch

0,28 Gramm. Die diamagnetische Abstoßung des im Uhrglase eingeschlossenen Wassers beträgt also 0,12 Gramm.

Nun bereitete Plücker vier Lösungen von Eisenchlorür, deren Salzgehalt sich verhielt wie 8 : 4 : 2 : 1 und bestimmte die zum Abziehen nöthigen Gewichte. Es ergab sich aus diesen Versuchen, daß die Anziehung der Eisenchlorürlösung dem Gehalte an Eisenchlorür proportional ist.

Ganz ähnliche Resultate wurden mit fein vertheiltem Eisen erhalten, welches in frischem Schweineschmalz gleichmäßig vertheilt war.

Aehnliche Versuche wurden auch mit anderen eisen- und nickelhaltigen Substanzen gemacht. Die folgende Tabelle enthält einen Theil der so erhaltenen Resultate:

	A	*B*	*C*	*D*
Salpetersaures Eisenoxyd . .	14,55 gr.	1,212 gr.	2,502 gr.	2,064 gr.
Salzsaures Eisenoxydul . . .	16,53	2,825	7,095	2,501
Schmalzmischung 50 : 1. . .	8,225	0,161	82,370	50,740
Eisenoxyd, gepulvert	14,82	10,377	21,690	2,090
Eisenglanz	33,72	23,604	91,755	3,887
Eisenoxydhydrat	16,50	8,750	13,238	1,513

Die Columne *A* enthält das Gewicht der untersuchten Substanz, unter *B* findet sich das Gewicht des in der untersuchten Masse enthaltenen Eisens; die mit *C* überschriebene Columne enthält die Größe der beobachteten magnetischen Anziehung. Dividirt man mit den Zahlen unter *B* in die unter *C* stehenden, so erhält man die letzte Verticalreihe, welche also angiebt, wie groß die Anziehung gewesen sein würde, wenn bei gleichmäßiger Vertheilung im Inneren des Uhrglases der Eisengehalt der Substanz gerade 1 Gramm betragen hätte.

Wir sehen daraus, daß bei gleichem Eisengehalt die magnetische Anziehung verschiedener Eisenverbindungen sehr verschieden ist, daß die magnetischen Eigenschaften des Eisens in den meisten seiner Verbindungen außerordentlich geschwächt erscheinen. Bezeichnen wir die magnetische Anziehung des metallischen Eisens mit 100 000, so ist die Anziehung, welche unter gleichen Umständen die gleiche Menge Eisen in verschiedenen Verbindungen erfährt, die folgende:

Eisen metallisch	100 000
» im Oxyd	714
» im Eisenglanz	761
» im Eisenoxydhydrat	296
» in der Lösung von salpeters. Eisenoxyd	410
» » » » » salzs. Eisenoxydul	490

Man sieht aus dieser Zusammenstellung, wie sehr die magnetischen Eigenschaften des Eisens abnehmen, wenn dieses Metall mit anderen Körpern chemische Verbindungen eingeht. Eine einzige Eisenverbindung zeigt einen stärkeren Magnetismus; bezeichnen wir den Magnetismus des Eisens mit 100 000, so ist der eines gleichen Gewichtes Magneteisenstein 40 227. Es ist dies eine Verbindung von Eisenoxyd mit Eisenoxydul ($FeO + Fe_2O_3$). — Der starke Magnetismus dieser Verbindung rührt höchst wahrscheinlich daher, daß das Eisenoxydul in sehr hohem Grade magnetisch ist. Das Eisenoxydul selbst konnte Plücker bisher noch nicht untersuchen.

Die Größe der diamagnetischen Abstoßung wurde in der Weise ermittelt, wie es oben für Wasser angegeben wurde. Bezeichnen wir die Stärke des Diamagnetismus des Wassers mit 100, so ist bei gleichem Volumen die Stärke der diamagnetischen Abstoßung für

Alkohol (0,813)	93
Aether	93
Schwefelkohlenstoff	129
Schwefelsäure	64.

Einfluß der Krystallisation auf die diamagnetischen Er- 162
scheinungen. Plücker machte zuerst die Beobachtung, daß die Krystallisationsverhältnisse einen wesentlichen Einfluß auf die diamagnetischen Erscheinungen ausüben. Eine Turmalinplatte z. B., welche einer Turmalinzange entnommen, also parallel mit der Axe geschliffen war, wurde so aufgehängt, daß die Richtung der Axe mit der Richtung des Fadens zusammenfiel (es ist dies in Fig. 420 durch die Schraffirung angedeutet; die Schraffirungslinien sind der optischen Axe der Platte parallel).

Fig. 420.

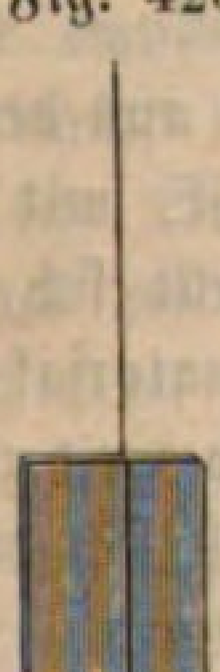
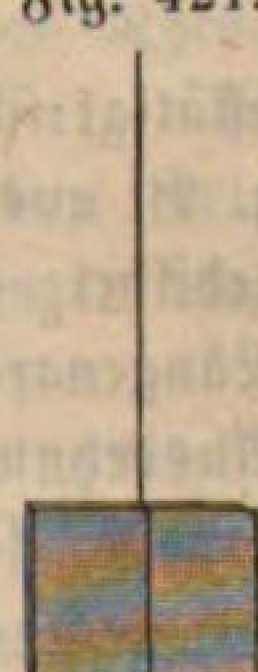


Fig. 421.



Die Platte stellt sich zwischen den Polen des Elektromagneten axial; der Turmalin ist also eine magnetische Substanz (was wohl von seinem Eisengehalte herrührt). Nun wurde dieselbe Platte so aufgehängt, daß die Richtung der optischen Axe rechtwinkelig zu der des Fadens war, wie dies Fig. 421 angedeutet ist; jetzt stellte sich die Platte äquatorial.

Faraday machte Versuche mit gut krystallisirten Wismuthstücken, aus welchen sich ergab, daß die Hauptspaltungsrichtung stets ein Bestreben zeigt, sich äquatorial zwischen die Magnetpole zu stellen. Dieses Bestreben macht sich in der Weise

geltend, daß eine Säule von krystallisirtem Wismuth, deren Axe auf der Hauptspaltungsfläche rechtwinkelig steht, sich selbst bei entschieden vorherrschenden Längendimensionen axial stellt.

Faraday nennt die Richtung des krystallisirten Wismuths, welche sich axial zu stellen strebt, die Magnetkrystallaxe.

Plücker ließ geschmolzenes Wismuth langsam zwischen den Magnetpolen krystallisiren. Nach dem Erstarren zeigte sich, daß die Ebenen der vollkommenen Spaltbarkeit vorherrschend nach der äquatorialen Richtung lagen.

Nachdem Plücker das eigenthümliche Verhalten der Krystalle zwischen den Magnetpolen entdeckt hatte, suchte er es durch eine Einwirkung der Magnetpole auf die optischen Axen zu erklären. Neuerdings hat er seine Ansicht über diesen Gegenstand in folgender Weise modificirt: »Unter der inducirenden Wirkung eines Magnetpols wird jedes kleinste Theilchen eines Krystalls polar magnetisch oder polar diamagnetisch. Aber die Polarität tritt auf, nicht wie bei der gewöhnlichen Induction, nach einer veränderlichen Richtung, die bloß nach der Lage der Pole bestimmt wird, sondern je nach der Krystallform nach einer oder mehr als einer festen Richtung. Solche Richtungen, die in dem Krystalle durch die Form desselben gegeben sind, habe ich die magnetischen Axen des Krystalls genannt.«

Krystalle des regulären Systems haben keine solche magnetische Axe.

Die optisch einaxigen Krystalle haben eine magnetische Axe, welche mit der krystallographischen Hauptaxe (also auch mit der optischen) zusammenfällt. Stellt sich die magnetische Axe zwischen den Magnetpolen axial, so nennt Plücker den Krystall magnetisch positiv; er nennt ihn magnetisch negativ, wenn sich die magnetische Axe zwischen den Magnetpolen äquatorial stellt.

Knoblauch ist dagegen der Ansicht, daß überhaupt in diamagnetischen, wie in magnetischen Körpern, deren Theilchen nicht nach allen Seiten hin gleich weit von einander abstehen, die (diamagnetische oder magnetische) Wirkung, welche sich an ihnen zwischen den Magnetpolen kund giebt, immer in der Richtung am stärksten ist, in welcher die materiellen Theilchen am nächsten bei einander liegen.

Diese Ansicht wird durch folgenden Versuch bestätigt: Wird aus dem feinen Pulver eines rein diamagnetischen Körpers, z. B. aus Mehl, mit Hülfe von etwas Gummiwasser ein vierkantiger Stab gebildet, so stellt sich dieser zwischen den Magnetpolen natürlich so, daß die Längenaxe äquatorial steht. Drückt man ihn in der Richtung seiner größeren Ausdehnung so weit zusammen, daß das Parallelepiped in einen Würfel übergeht, so stellt sich dieselbe Richtung, welche vorher äquatorial war, auch jetzt noch äquatorial. Dies ist selbst dann noch der Fall, wenn die Zusammendrückung in demselben Sinne wie zuvor so weit fortgesetzt worden, daß aus dem Würfel eine dünne Platte entstanden ist, so daß also die Ebene der Platte axial steht.

Galvanische Zuckung. Da einerseits die Inductionsströme vorzugsweise kräftige physiologische Wirkungen hervorbringen, da andererseits das Verständniß der physiologischen Wirkungen der Elektricität sowohl, als auch der Erscheinungen der thierischen Elektricität die Kenntniß der Inductionserscheinungen voraussetzen, so ist hier der passendste Platz diese Gegenstände näher zu betrachten. 163

Die Zuckungserscheinung, welche wir bereits S. 155 kennen gelernt haben, und deren Beobachtung eine neue Aera der Elektricitätslehre eröffnete, ist ein zusammengesetztes Phänomen. — Galvani suchte, wie wir bereits gesehen haben, die Quelle der Elektricitätserregung in dem Froschpräparate selber, während Volta dagegen die Behauptung aufstellte, daß die Zuckung lediglich durch einen elektrischen Strom erzeugt werde, dessen Quelle außerhalb des Froschpräparates zu suchen sei und als deren Sitz er die Berührungsstelle der heterogenen Metalle bezeichnete, aus welchen der Leitungsbogen zusammengesetzt ist.

Volta's Ansicht errang den Sieg, und allerdings ist es vorzugsweise, wenn auch nicht ausschließlich, die durch die Berührung verschiedener Metalle erzeugte Elektricität, welche die Zuckung bei der ursprünglichen Form des Galvani'schen Zuckungsversuches hervorruft. — Wenn das Froschpräparat noch sehr empfindlich ist, so gelingt es allerdings, wie schon Galvani zeigte, auch Zuckungen nicht allein mit gleichartigem Metallbogen, sondern auch ganz ohne Metalle hervorzubringen. Wenn aber die Empfindlichkeit des Präparats so weit abgenommen hat, daß sich unter diesen Umständen keine Zuckungen mehr zeigen, so treten sie bei Anwendung eines aus zwei verschiedenen Metallen zusammengesetzten Schließungsbogens sogleich wieder ein.

Wenn nun dadurch auch die Ueberlegenheit eines aus heterogenen Metallen gebildeten Schließungsbogens dargethan ist, so findet, wie wir in den folgenden Paragraphen sehen werden, in den Muskeln des Froschpräparats selbst eine Elektricitätsentwickelung Statt, wenn auch in anderer Weise als es Galvani sich vorstellte, und diese Elektricitätsentwickelung ist es, welche allein die Zuckung ohne Metalle bewirkt, die wir bald näher werden kennen lernen.

Soviel ist aber aus dem Gesagten schon klar, daß das Froschpräparat ein sehr empfindliches Rheoskop ist, welches in vielen Fällen selbst mit dem Multiplicator wetteifert. Wir haben bereits Seite 166 gesehen, daß eine Volta'sche Säule von vielen Plattenpaaren auch in dem lebenden Körper Zuckungen hervorbringen kann, welche denen des galvanischen Froschpräparates entsprechen.

Wenn der Froschschenkel schon unter Umständen zuckt, unter welchen am lebenden Körper auch nicht die leiseste Spur eines Schlages wahrzunehmen ist, so liegt der Grund davon lediglich darin, daß bei dem galvanischen Präparat der Strom in einer ganzen Strecke seiner Bahn auf den Nerven allein angewiesen ist, während er beim lebenden Körper einen Leiter von viel größerem Querschnitt, die Arme z. B. durchläuft, so daß also nur ein unbedeutender Theil des gesammten Stromes auf die Nerven kommt.

Um das Froschpräparat recht empfindlich zu machen, kommt es darauf an, sich ein möglichst langes Stück des Nerven freiliegend zu verschaffen; dies ist bei dem strompüfenden Froschschenkel der Fall, welcher Fig. 422 abgebildet ist. Er besteht aus einem bloßen Unterschenkel vom Frosch, an welchem der

Fig. 422.



ganze Verlauf des Nervus ischiadicus von der Kniekehle bis zu den Lendenwirbeln erhalten ist.

Ein stromprüfender Froschschenkel kann also zur Nachweisung schwacher elektrischer Ströme gebraucht werden, welche man durch den Nerven des Präparates gehen läßt; der stromprüfende Schenkel kann also als ein Rheoskop dienen, welches wir von dem magnetischen und dem chemischen als physiologisches Rheoskop unterscheiden wollen.

Die Eigenthümlichkeiten des physiologischen Rheoskops werden wir im folgenden Paragraphen kennen lernen.

164 **Allgemeines Gesetz der Nervenerregung durch den elektrischen Strom.** Schließt man eine Volta'sche Säule von nicht übermäßig vielen Plattenpaaren durch den menschlichen Körper, indem man jeden der Pole der Säule mit einer Hand berührt, so fühlt man einen Schlag; der fortdauernd durch den Körper circulirende Strom bringt kaum eine merkliche Wirkung hervor, während man einen zweiten Schlag empfindet, im Moment, in welchem man die Kette öffnet.

Aehnliches beobachtet man beim stromprüfenden Froschschenkel. Er antwortet nur auf das Eintreten und Aufhören des Stromes, oder allgemeiner ausgedrückt, nur auf die Schwankungen der Stromstärke, verhält sich aber ruhig während der Dauer eines gleichbleibenden Stromes.

Du Bois-Reymond hat dies in präciser Fassung als oberstes Gesetz der elektrischen Reizversuche in folgender Weise ausgesprochen:

Nicht der absolute Werth der Stromdichtigkeit in jedem Augenblicke ist es, auf den der Bewegungsnerv mit Zuckung antwortet, sondern die Veränderung dieses Werthes von einem Augenblicke zum anderen, und zwar ist die Anregung zur Bewegung, welche diesen Veränderungen folgt, um so bedeutender, je schneller sie bei gleicher Größe vor sich gingen oder je größer sie in der Zeiteinheit waren.

Dadurch erklärt sich nun auch, warum man bei Entladung einer Leydener Flasche einen so heftigen Schlag fühlt. Obgleich die dabei durch den Körper gehende Elektricitätsmenge außerordentlich gering ist, so ist wegen der großen

Schnelligkeit der Entladung die physiologische Wirkung doch eine sehr bedeutende.

An die Schläge der Leydener Flasche schließen sich in physiologischer Beziehung zunächst die Wirkungen der Inductionsströme an.

Es muß hier noch bemerkt werden, daß das oben ausgesprochene Gesetz in aller Strenge nur für die Bewegungsnerven gilt. Was die Empfindungsnerven betrifft, so sind sie sämmtlich, so weit sie sich überhaupt dem elektrischen Strome unterthan zeigen, neben der auf Schwankungen der Dichtigkeitscurve auftretenden Wirkung auch einer Reaction auf die Fortdauer der Strömung in beständiger Größe fähig.

Schon Volta spricht von einem eigenthümlichen fortdauernden Gefühl, welches man nach dem Schließen einer Zinksilbersäule von 100 und mehr Plattenpaaren empfindet. Sehr bekannt ist der heftig stechende, brennende Schmerz, den man an verwundeten Hautstellen sogar im Kreise der einfachen Kette verspürt.

Eben so anhaltend ist der elektrische Geschmack.

Was den Gesichtssinn betrifft, so scheint Volta nur den Schließungs- und Oeffnungsblitz gesehen zu haben; Ritter hat aber schon mittelst der einfachen Kette dauernde Lichtwirkungen beobachtet.

Wenn man den Strom einer Säule von 30 bis 40 Plattenpaaren mittelst Sonden in die Ohren einführt, so beobachtet man ein continuirliches Geräusch u. s. w.

Wenn nun aber in den Empfindungsnerven auch der gleichförmig fortdauernde Strom gefühlt wird, so ist doch selbst bei diesen die Wirkung beim Schluß und Oeffnen bedeutend stärker, als die continuirliche.

So zeigt sich denn eine ziemlich große Aehnlichkeit zwischen der Nervenerregung und der Induction, worauf Marianini zuerst aufmerksam gemacht hat.

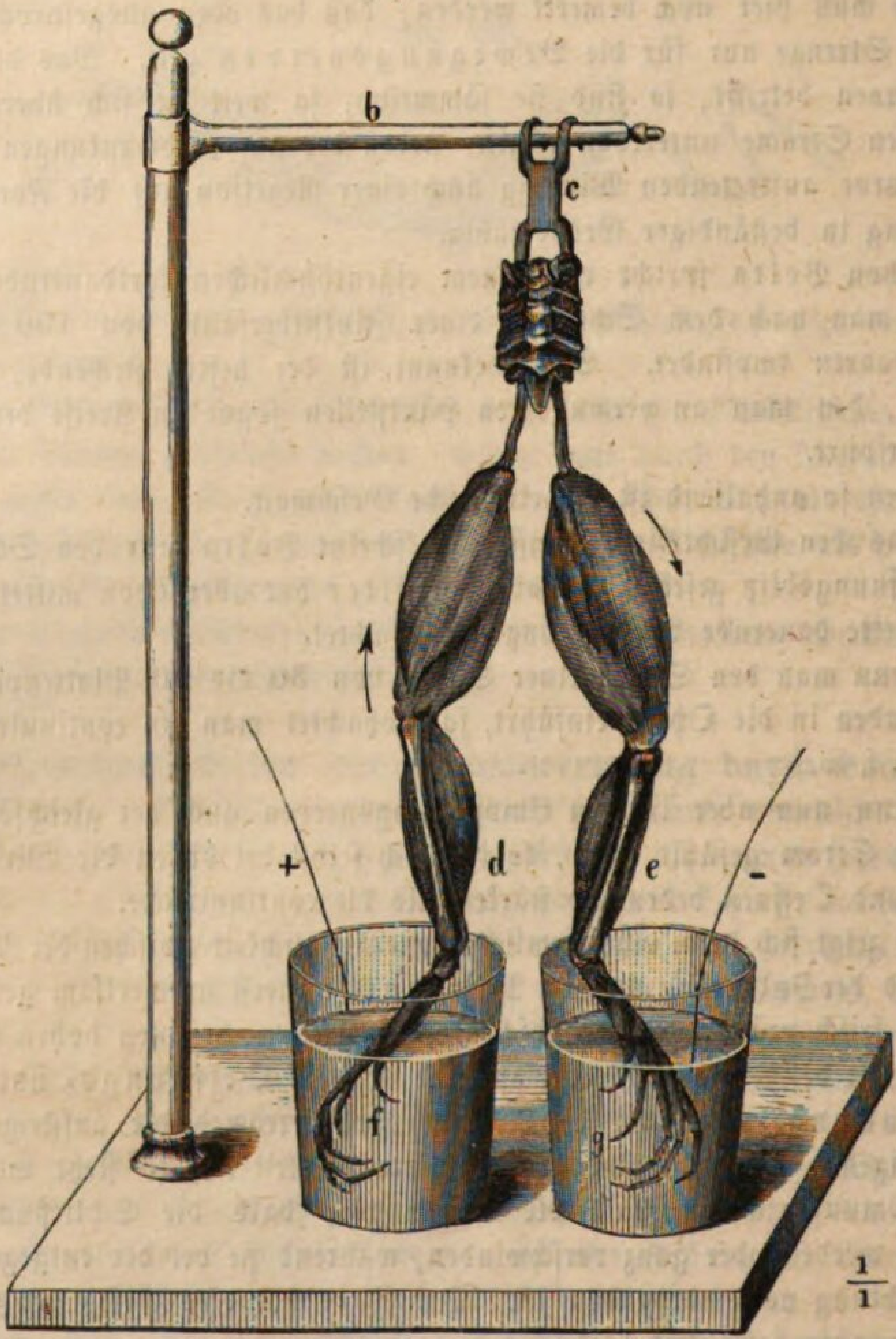
An frisch präparirten Froschschenkeln, welche noch einen hohen Grad von Erregbarkeit besitzen, beobachtet man eine kräftige Oeffnungs- und Schließungszuckung, mag nun die Richtung des Stromes die aufsteigende oder die absteigende sein. Nimmt aber die Erregbarkeit ab, so sieht man je nach der Strömungsrichtung bald die Oeffnungs-, bald die Schließungszuckung schwächer werden oder ganz verschwinden, während sie bei der entgegengesetzten Stromrichtung noch vorhanden ist. Du Bois hat dies Gesetz der Zuckungen folgendermaßen formulirt:

Man findet in den meisten Fällen und auf der mittleren Stufe der Erregbarkeit, daß, je nach der Richtung, in welcher der Nerv durchflossen wird, bald die Schließungs- und bald die Oeffnungszuckung stärker ausfällt, ja daß nur die eine, und die andere gar nicht zum Vorschein kommt. Die stärkere Schließungszuckung gehört dem Strome an, der vom Ursprunge der Nerven nach ihrer Ausbreitung gerichtet ist, die stärkere Oeffnungszuckung dem entgegengesetzt kreisenden.

Die einfachste Art, die Erscheinung zu zeigen, ist folgende: Man trennt

am Galvani'schen Präparat die beiden Beine vollständig von einander, und läßt jeden Fuß in ein mit Salzwasser gefülltes Gefäß herabhängen, wie Fig. 423 zeigt. In diese Gefäße werden die Poldrähte einer Galvani'schen

Fig. 423.



Kette, etwa eines Bunsen'schen Elementes, eingetaucht. Durch Herausnehmen und wieder Einstecken des einen dieser Drähte aus dem Gefäß kann man nach Belieben die Kette öffnen und schließen. Hat die Empfindlichkeit des Präparates bis zu dem entsprechenden Grade abgenommen, so sieht man beim Schließen nur das eine, beim Oeffnen nur das andere Bein zucken.

Denjenigen Strom, welcher von dem Ursprunge gegen die Ausbreitung der Nerven hin gerichtet ist, kann man kurz den absteigenden nennen, während man als aufsteigenden Strom denjenigen bezeichnet, welcher sich im Nerven von der Ausbreitung gegen den Ursprung hin bewegt.

Nach diesem Gesetze kann man die Richtung eines Stromes ermitteln. Wenn der Schenkel beim Schließen zuckt und nicht beim Oeffnen, so hat man mit einem absteigenden Strome zu thun. Bringt man nun den Nerven in entgegengesetzter Richtung in die Kette, so muß der Schenkel jetzt beim Schließen vergleichsweise ruhig bleiben, und zucken, wenn die Kette geöffnet wird.

Die Angaben über Stromesrichtung durch Zuckungen sind jedoch keineswegs so sicher und präcis, wie diejenigen des Multiplicators, indem häufige Unregelmäßigkeiten vorkommen.

Der Muskelstrom. Es ist schon bemerkt worden, daß es bereits 165
Galvani gelungen ist, indem er seine Theorie gegen Volta's Angriffe zu vertheidigen suchte, eine Zuckung ohne Metalle hervorzubringen. Schneidet man nach seiner Angabe an dem Galvani'schen Froschpräparat die Nerven dicht an ihrer Austrittsstelle aus dem Wirbelkanal ab, und bringt man sie, ohne sie in eine Flüssigkeit zu tauchen oder sonst einem verändernden Einfluß auszusetzen, mit der Außenfläche des Schenkels in Berührung, so zuckt der Schenkel. Auch der folgende Versuch ist bereits von Galvani angestellt worden: wenn man zwei mit Salzlösung gefüllte Gläser neben einander stellt, in das eine die Füße, in das andere die Wirbelsäule des Galvani'schen Präparates eintaucht, so erfolgt eine Zuckung derselben, sobald man die beiden Gefäße durch befeuchtete Asbest- oder Baumwollendochte leitend verbindet.

Auch Humboldt stellte Versuche an, welche die Elektricitätsentwickelung in den Froschpräparaten unwiderleglich darthun; allein die bald darauf erfolgte Entdeckung der Volta'schen Säule lenkte die Aufmerksamkeit der Naturforscher so sehr von diesen Versuchen ab, daß sie bald ganz in Vergessenheit geriethen.

Erst nach Entdeckung des Elektromagnetismus wurde dieser Gegenstand wieder aufgenommen. Nobili wollte die Empfindlichkeit seines Multiplicators mit der des Froschpräparates vergleichen. Er stellte den letzteren der eben besprochenen Galvani'schen Versuche in der Weise an, daß er in den leitenden Schließungsbogen, welcher die beiden Gefäße verbinden sollte, den Multiplicator einschaltete. Bei den ersten Versuchen zuckte das Froschpräparat, aber die Nadel des Multiplicators blieb ruhig; das Froschpräparat war also empfindlicher als der Multiplicator.

Nobili stellte einen neuen vollkommneren Multiplicator her, und nun gelang es ihm, auf die angedeutete Weise einen ersten Ausschlag von 10, 20, ja von 30^0 zu erhalten.

Die Ablenkung des Multiplicators war stets so gerichtet, daß sie einen positiven Strom von den Muskeln zu den Nerven oder von den Füßen zu dem Kopfe im Frosche anzeigte. Diesen Strom, denselben, welcher die Galvani'sche Zuckung ohne Metalle erzeugt, nennt Nobili »la corrente propria della rana«; wir nennen ihn Froschstrom.

Der Froschstrom ist nicht bloß im Augenblicke der Schließung, sondern

dauernd vorhanden; in einem einzelnen Falle erhielt Nobili 5⁰ beständiger Ablenkung. — Die Wirkung wird verstärkt, wenn man mehrere Frösche, nach dem Gesetz der Säule geordnet, in den Kreis einführt; ein zweiter Frosch gab 8⁰, ein dritter gab 11⁰ beständiger Ablenkung. — Das Dasein des Stromes ist von der Fähigkeit des Frosches, mit Zuckung darauf zu antworten, völlig unabhängig, was daraus hervorgeht, daß die Multiplicatorwirkungen mehrere Stunden fortdauern, während die Zuckungen höchstens nach $^1/_4$ Stunde aufhören.

Nobili war der Meinung, daß diese Ströme thermo-elektrischen Ursprungs seien.

Nach Nobili hat zunächst Matteucci die Untersuchungen über die thierische Elektricität fortgesetzt. Er bediente sich zu seinen Versuchen eines Multiplicators von 2500 Windungen. Die Drahtenden dieser Windungen waren mit Platinplatten versehen, welche in zwei mit verdünnter Salzlösung gefüllte Porzellangefäße tauchten. Die Schließung der Kette geschah dadurch, daß er die beiden Gefäße mittelst des Froschpräparates verband.

Die wichtigsten Resultate, die er auf diesem Wege erhielt, sind folgende: Man erhält einen Strom, eben so stark wie der des Galvani'schen Präparates, wenn man den ganzen enthäuteten Frosch zum Versuch anwendet und die Füße in das eine, den Kopf oder Rücken in das andere Gefäß taucht. Mit dem Galvani'schen Präparat erhält man den Strom noch in ungeschwächter Stärke, und immer in gleicher Richtung, wenn man, nachdem die Nerven ganz weggeschnitten sind, den Unterschenkel auf der einen, den Oberschenkel auf der anderen Seite eintaucht.

Du Bois-Reymond ging weiter. Er zeigte, daß jeder einzelne Muskel elektromotorisch wirkt, und entwickelte alsbald das wahre Gesetz des Muskelstromes.

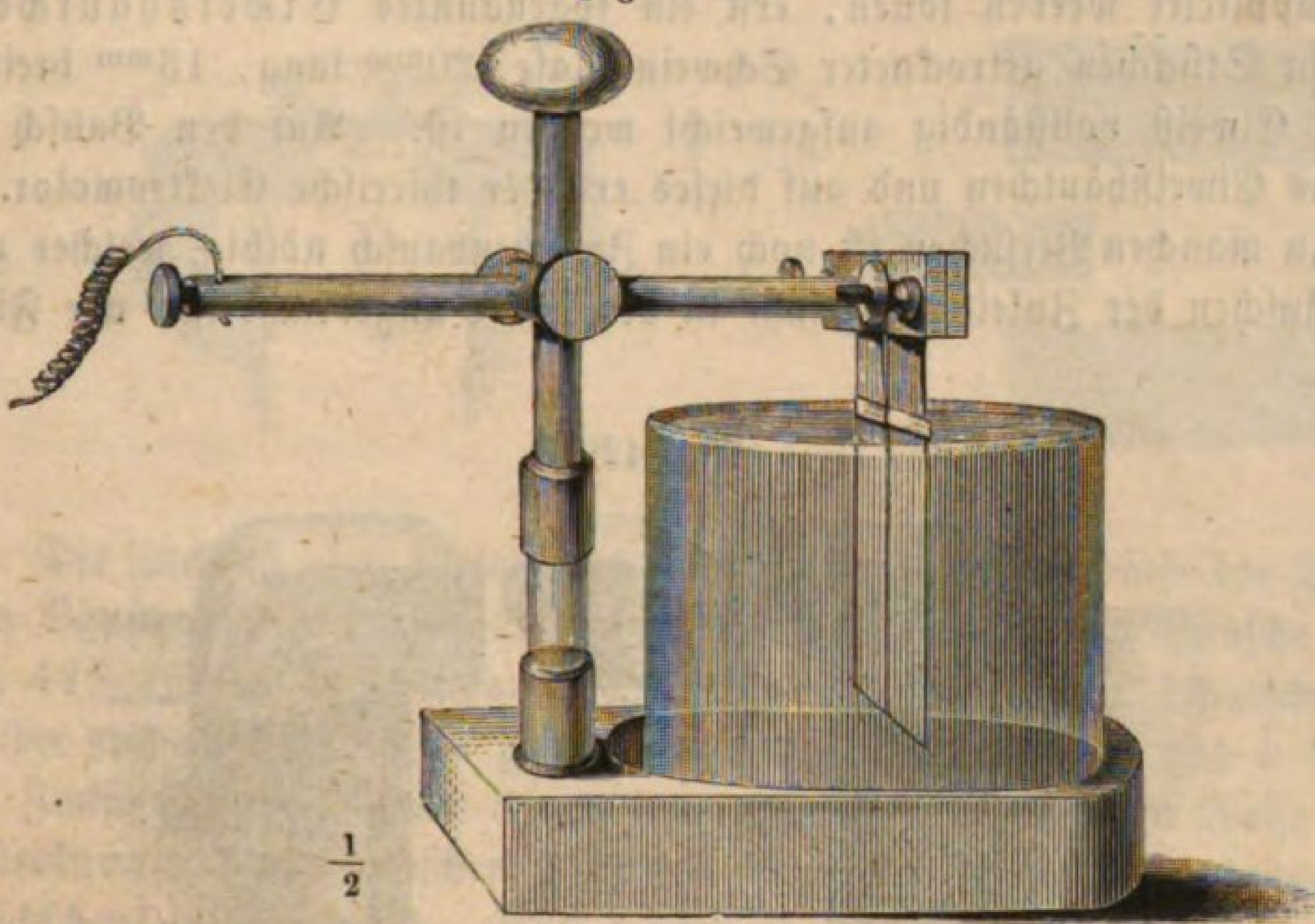
Den Versuchen über thierische Elektricität wußte Du Bois eine Sicherheit zu geben, wie man sie bis dahin noch nicht kannte. Zu seinen Versuchen über den Muskelstrom bediente er sich eines Multiplicators von 4600 Windungen. Mit jedem Ende des Multiplicatordrahtes ist eine Platinplatte in Verbindung gebracht, wie man es Fig. 424 sieht. Die Platte ist durch eine Klemme von Messing gehalten, die sich an einem Ende eines horizontalen Messingstabes befindet, an dessen anderem Ende das eine Ende des Multiplicatordrahtes eingeschraubt ist. Die Platinplatte hängt in ein mit concentrirter Kochsalzlösung gefülltes Gefäß herab.

Jedes der beiden Multiplicatorenden ist auf diese Weise mit einer Platinplatte versehen, und die beiden Zuleitungsgefäße werden dicht neben einander gestellt. Man braucht diese Zuleitungsgefäße nur durch den zu prüfenden thierischen Körpertheil zu verbinden, um die Wirkung des Muskelstromes auf den Multiplicator zu erhalten.

Das unmittelbare Eintauchen der thierischen Theile in die Salzlösung ist jedoch nur bei gröberen Versuchen zulässig, weil bei feineren Untersuchungen das Anätzen der thierischen Theile durch die concentrirte Salzlösung störend

wirkt. Für diese Fälle wendet nun Du Bois Bäusche von Fließpapier an. Es sind dies die Compressen oder Bäusche aus sehr vielen Lagen feinen

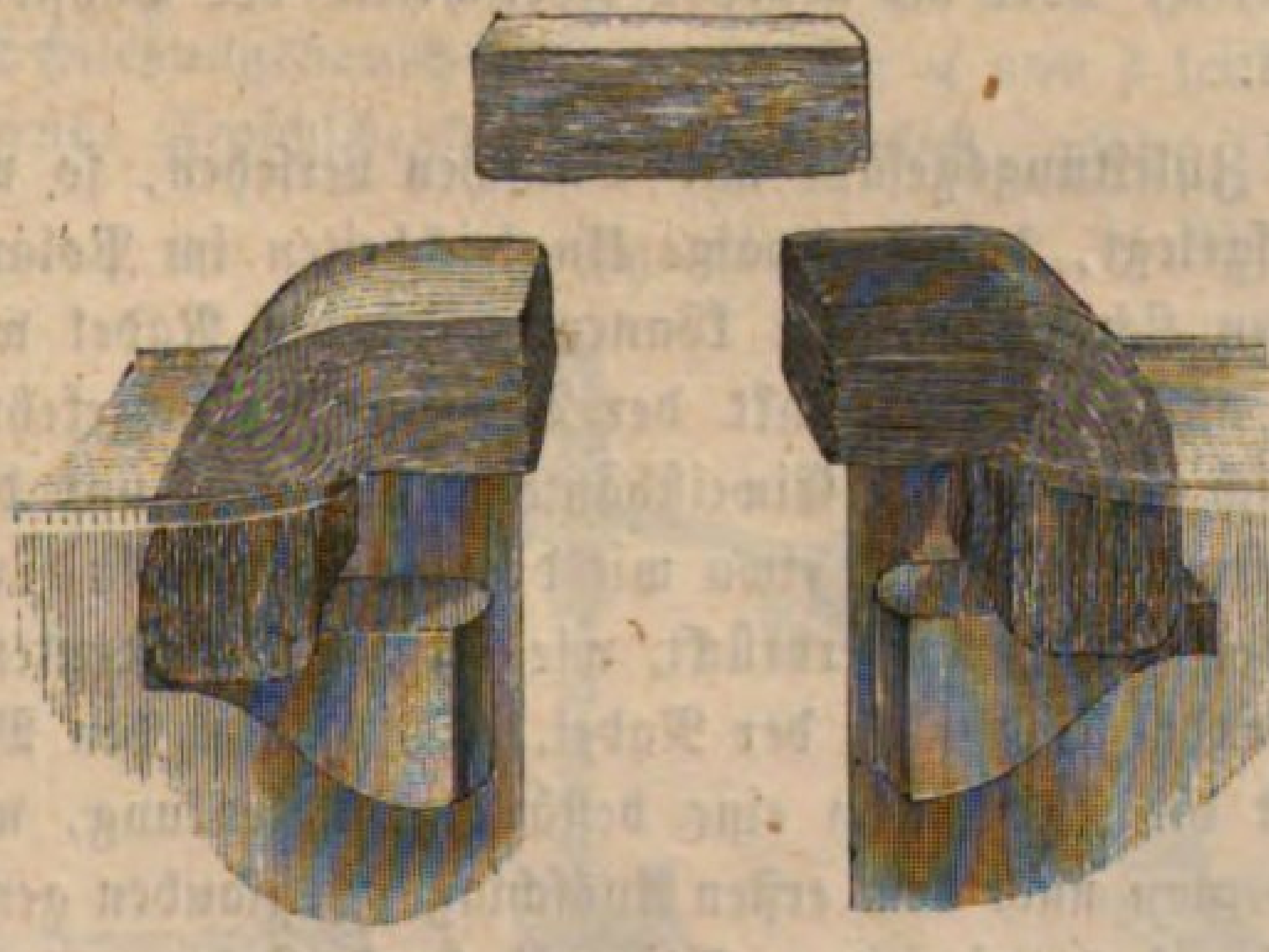
Fig. 424.



$\frac{1}{2}$

Fließpapiers, welche, mit der gesättigten Salzlösung getränkt, auf den Rand der Zuleitungsgefäße aufgelegt werden, wie Fig. 425 zeigt. Sie ruhen, außer auf dem Rande der Gefäße selbst, innerhalb derselben noch auf gefirnißten

Fig. 425.

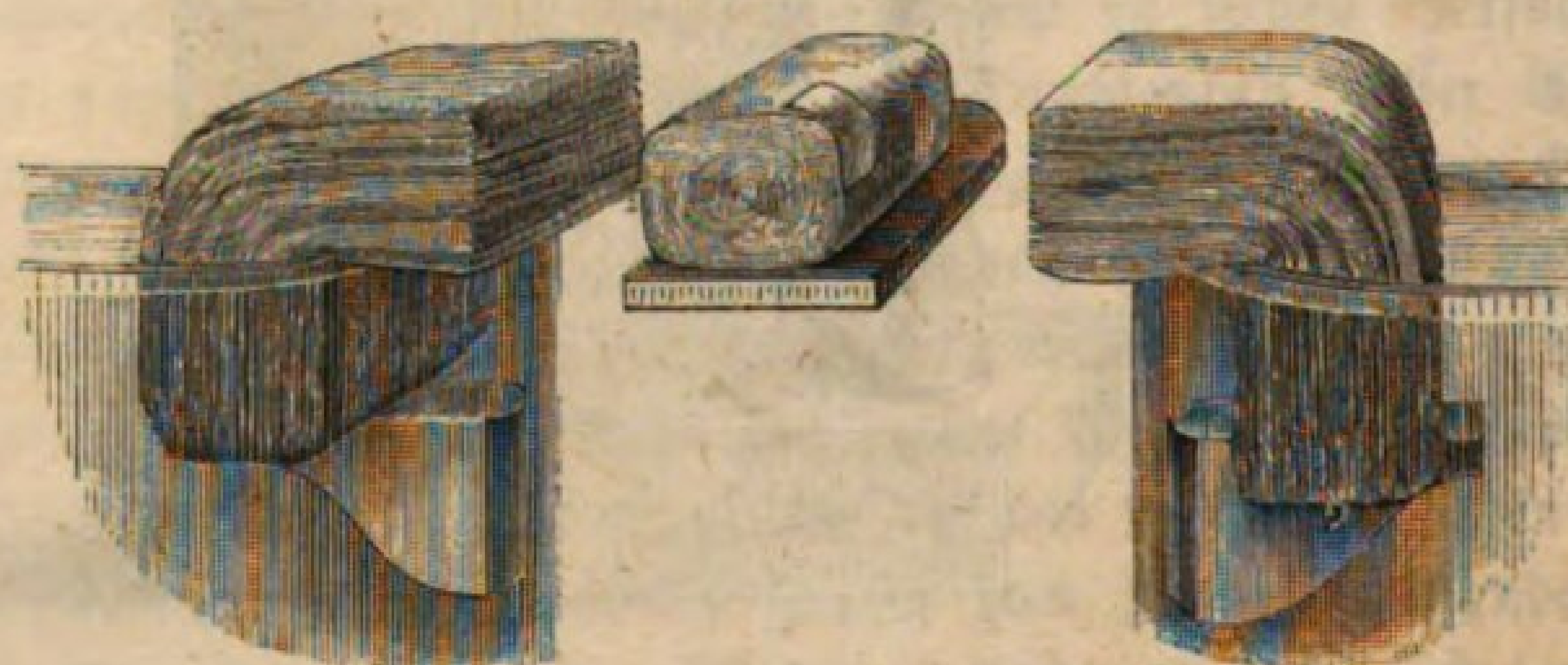


Holzklötzchen, welche an die Wand der Gläser angekittet sind. Man kann diese Bäusche die Zuleitungsbäusche nennen. Die Schließung der Kette wird durch einen dritten, gleichfalls mit der Salzlösung getränkten Bausch, den Schließungsbausch, bewirkt, welcher auf die Zuleitungsbäusche gelegt wird. Um den auf Elektricitätserregung zu prüfenden thierischen Körper in die Kette einzuschalten, muß man natürlich erst den Schließungsbausch entfernen. Nun darf man aber die thierischen Theile nicht unmittelbar auf die Zuleitungsbäusche

legen, weil sonst das erwähnte Anätzen stattfinden würde, welches für sich schon Zuckungen hervorbringen kann. Um diese unmittelbare Berührung zu hindern, legt Du Bois an derjenigen Stelle der Bäusche, wo die thierischen Körpertheile applicirt werden sollen, erst ein sogenanntes Eiweißhäutchen auf, d. h. ein Stückchen getrockneter Schweinsblase (20^{mm} lang, 13^{mm} breit), welches in Eiweiß vollständig aufgeweicht worden ist. Auf den Bausch kommt also das Eiweißhäutchen und auf dieses erst der thierische Elektromotor.

Zu manchen Versuchen ist noch ein Zwischenbausch nöthig, welcher zwischen den Bäuschen der Zuleitungsgefäße in der Weise angebracht ist, wie Fig. 426 zeigt.

Fig. 426.



Näheres über die bei diesen Versuchen zu beobachtenden Vorsichtsmaßregeln findet man ausführlich in Du Bois-Reymond's klassischem Werke »Untersuchungen über thierische Elektricität«, Berlin 1848 und 1849; im Auszug in meinem »Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik«, Braunschweig 1849 bis 1852.

Sind die Zuleitungsgefäße mit Bäuschen versehen, so wird der Schließungsbausch aufgelegt, damit etwaige Ungleichheiten im Polarisationszustande der Platinplatten sich ausgleichen können. Ist die Nadel wieder zur Ruhe gekommen und auf den Nullpunkt der Theilung zurückgekehrt, so wird der Schließungsbausch entfernt, die Eiweißhäutchen aufgelegt und der Zwischenraum mit dem zu prüfenden Muskel, etwa mit dem großen Wadenmuskel (Gastroknemius) des Frosches überbrückt, wie Fig. 427 andeutet. Sogleich erfolgt ein bedeutender Ausschlag der Nadel. Läßt man den Muskel ruhig liegen, so bekommt die Nadel nun eine beständige Ablenkung, welche jedoch viel geringer ist, als man nach dem ersten Ausschlage zu glauben geneigt sein möchte, weil sich in Folge des primitiven Stromes starke Ladungen auf den Platinplatten entwickeln.

Der Strom des Gastroknemius wirft bei einem guten Multiplicator die Nadel anfangs gegen die Hemmung, während die beständige Ablenkung nur 10 bis 20 Grad beträgt.

Entfernt man nun den thierischen Elektromotor wieder, so wird ein dem früheren entgegengesetzter Ausschlag erfolgen, wenn man den Schließungsbausch von Neuem auflegt. Dieser zweite Ausschlag rührt davon her, daß die Platin-

platten durch den thierisch-elektrischen Strom galvanisch polarisirt worden sind und sich nun diese Ladung wieder ausgleicht.

Fig. 427.

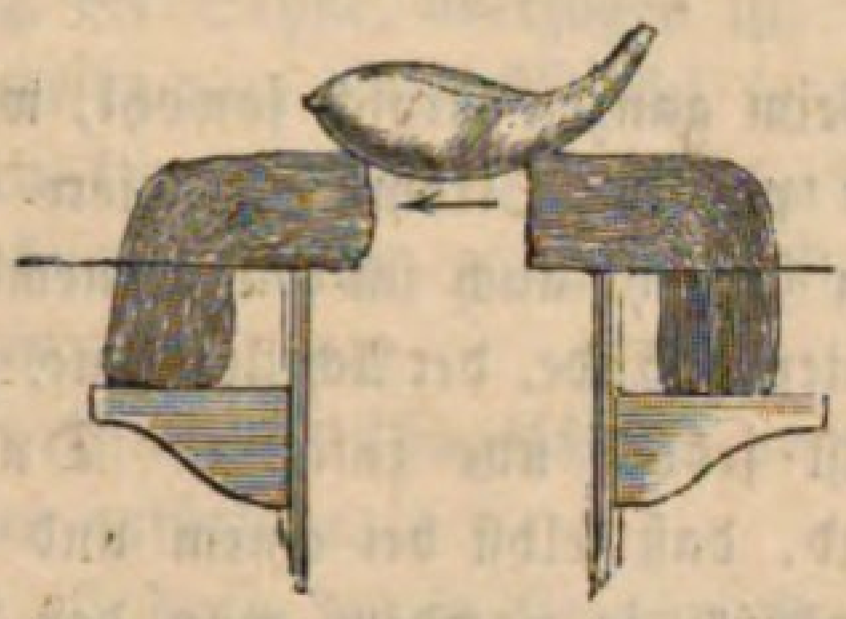
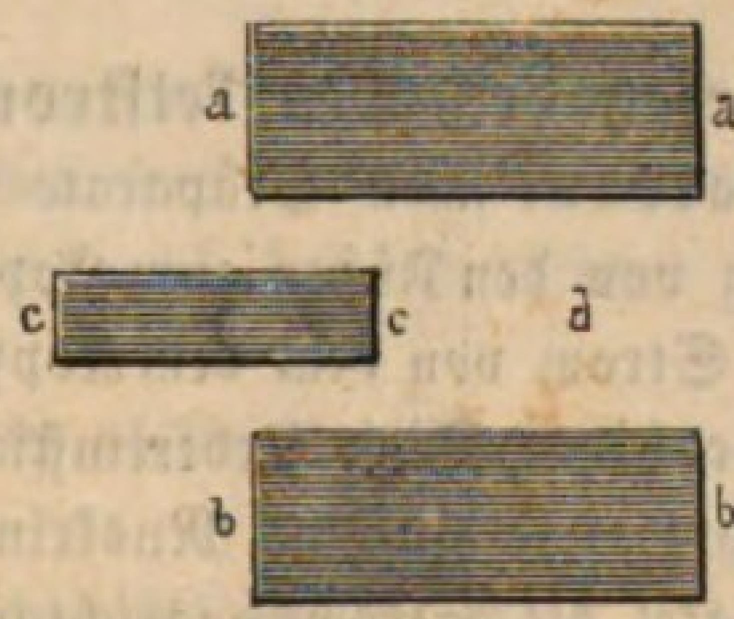


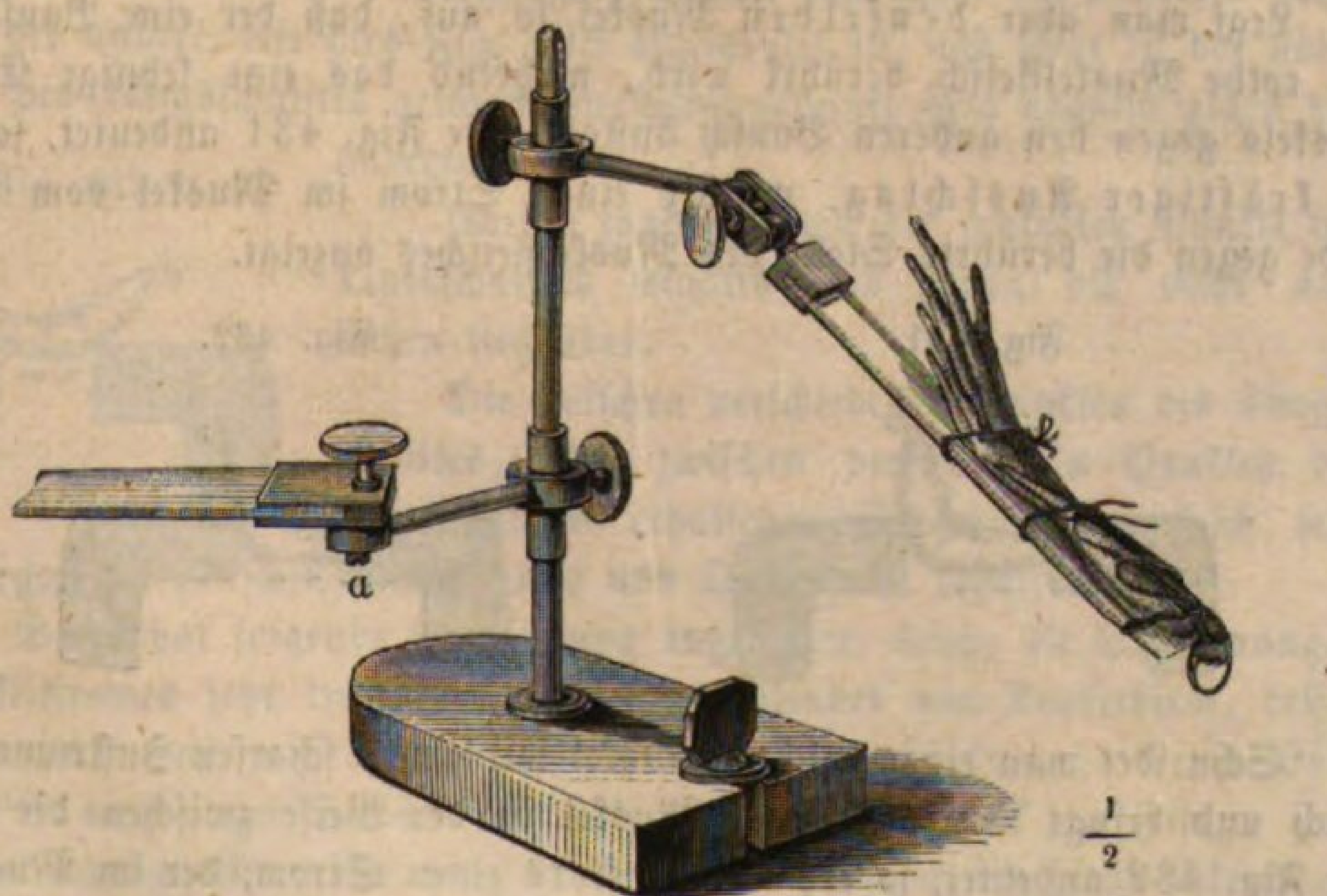
Fig. 428.



Die Zuckung ohne Metalle kann man sehr sicher mit Hülfe der Du Bois'schen Bäusche in folgender Weise erhalten: Zwischen zwei Bäusche *a* und *b*, Fig. 428, ist ein Zwischenbausch *c* auf der einen Seite so eingeschoben, daß auf der anderen Seite der ganze Zwischenraum zwischen *a* und *b* frei bleibt. Der Zwischenraum zwischen *a* und *c* wird in der angegebenen Weise durch den Gastroknemius, der zwischen *b* und *c* durch den Nerven des stromprüfenden Froschschenkels überbrückt. Man bindet zu diesem Zwecke den stromprüfenden Froschschenkel auf eine Glasplatte fest, welche durch ein Fig. 429 abgebildetes Stativ getragen wird. Man bringt das Stativ und die Bäusche in die gehörige Nähe, um das freie Nervenende des stromprüfenden Froschschenkels bequem zwischen den Bäuschen *b* und *c* ausbreiten zu können.

Ist Alles gehörig vorbereitet, so wird die Kette geschlossen, indem man bei *d* einen Schließungsbausch auflegt, welcher *a* und *b* leitend verbindet. Ist der stromprüfende Froschschenkel noch empfindlich genug, so zuckt er sowohl

Fig. 429.

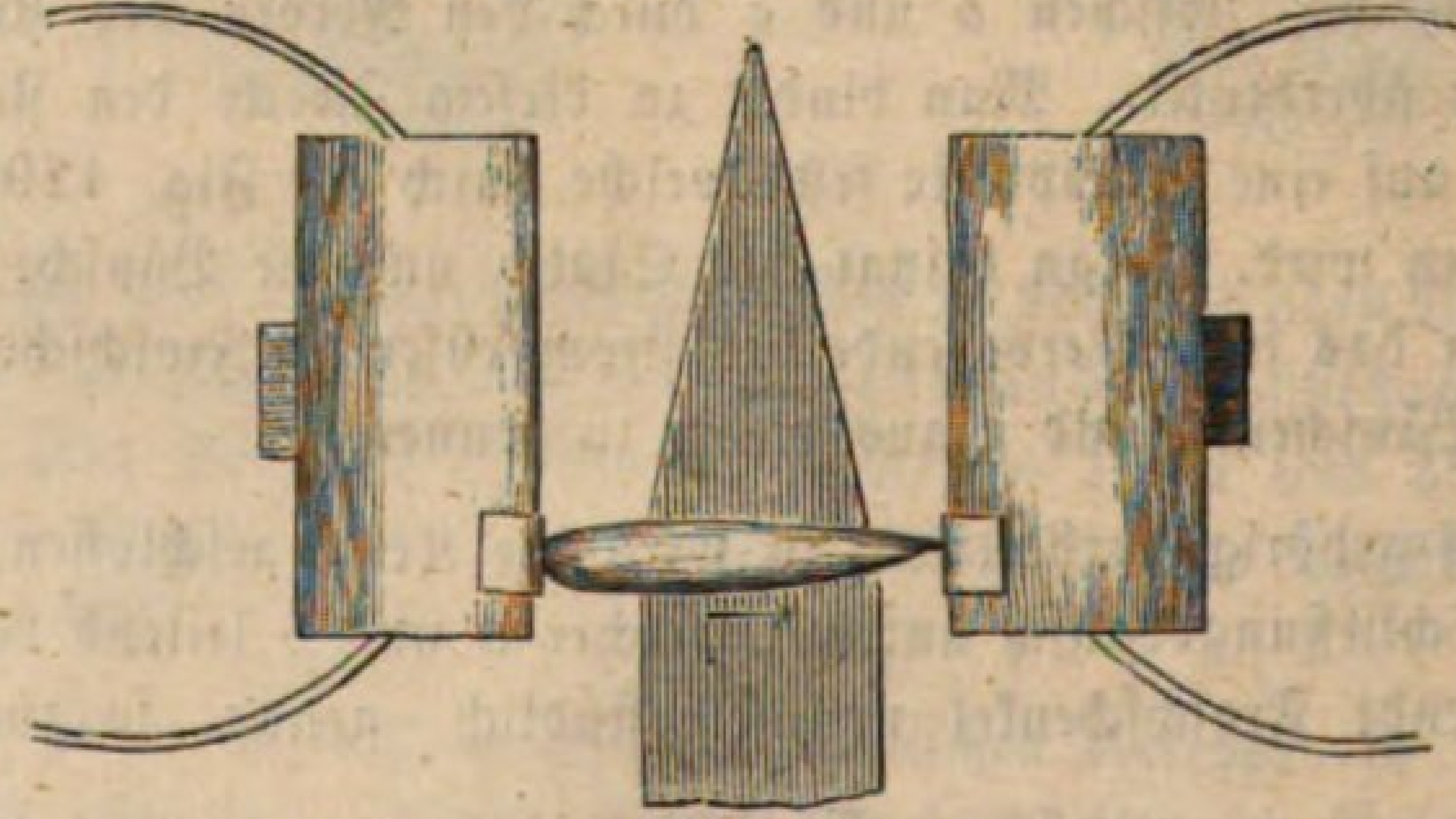


beim Auflegen, als auch beim Wegnehmen des Schließungsbausches; hat seine Empfindlichkeit abgenommen, so zuckt er entweder nur beim Auflegen oder nur beim Wegnehmen des Schließungsbausches.

166 **Gesetz des Muskelstromes.** Beim ganzen Frosch sowohl, wie auch beim Galvani'schen Präparate geht der positive Strom im Thiere in der Richtung von den Füßen zum Kopfe. Eben so geht auch im Gastroknemius der positive Strom von dem dem Kopfe entfernteren Ende, der Achillessehne, zu dem Kopfende hin. Diese Uebereinstimmung ist jedoch nur zufällig. Du Bois untersuchte viele einzelne Muskeln und fand, daß selbst bei einem und demselben Muskel die Strömungsrichtung sich ändert, je nachdem man den Muskel auf verschiedene Weise auf die Bäusche legt.

Mancher Muskel, wie z. B. der Musculus semi membranosus, giebt gar keinen oder doch nur einen ganz schwachen Strom, wenn er auf die Weise zwischen die Bäusche gebracht wird, wie Fig. 430 andeutet, so nämlich, daß er an beiden Seiten mit seinen sehnigen Enden die Bäusche berührt.

Fig. 430.

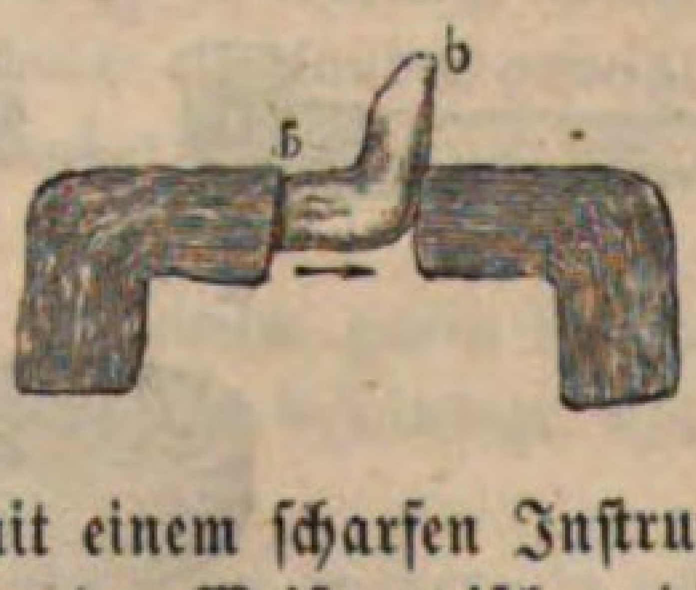


Legt man aber denselben Muskel so auf, daß der eine Bausch durch das rothe Muskelfleisch berührt wird, während das eine sehnige Ende des Muskels gegen den anderen Bausch anstößt, wie Fig. 431 andeutet, so erfolgt ein kräftiger Ausschlag, welcher einen Strom im Muskel vom sehnigen Ende gegen die berührte Stelle des Muskelfleisches anzeigt.

Fig. 431.



Fig. 432.



Schneidet man einen solchen Muskel mit einem scharfen Instrumente quer durch und bringt man dann den Muskel in der Weise zwischen die Bäusche, wie Fig. 432 andeutet, so erhält man stets einen Strom, der im Muskel vom künstlichen Querschnitt zur natürlichen Seitenfläche des Muskels geht.

Der künstliche Querschnitt verhält sich also gerade eben so wie das sehnige Ende des Muskels, und in der That kann man das sehnige Ende als den natürlichen Querschnitt des Muskels betrachten, der mit einer neutralen leitenden Substanz, der Sehne, überzogen ist.

Zerreißt man einen Muskel in der Richtung der Muskelfasern, so erhält man einen künstlichen Längsschnitt, welchen der natürlichen Seitenfläche des Muskels entspricht, welche Du Bois deshalb auch den natürlichen Längsschnitt nennt.

Der künstliche Längsschnitt verhält sich in elektrischee Beziehung gerade so wie der natürliche.

So ist denn durch die von Du Bois angestellten Versuche dargethan, daß der natürliche oder künstliche Längsschnitt eines Muskels sich positiv verhält gegen den natürlichen oder künstlichen Querschnitt.

Das Gesetz des Muskelstromes ist nicht etwa an einzelne Thiergattungen gebunden, es ist, nach Du Bois' Versuchen, über das ganze Thierreich verbreitet. Er hat die Negativität des künstlichen Querschnittes gegen den natürlichen Längsschnitt beobachtet an Muskeln vom Menschen (Muskeln eines eben amputirten Beines), vom Kaninchen, vom Meerschweinchen, von der Hausmaus, — der Taube und dem Sperling; — der Schildkröte, Eidechse, Ringelnatter, Blindschleiche, verschiedenen Arten von Fröschen und Kröten, dem Erd- und dem Wassermolch; — vom Schley, Flußkrebs und Regenwurm. Bei letzterem wurden die ganzen Stücke des walzenförmigen Körpers ohne Weiteres als Muskel aufgelegt.

Dies sind jedoch nur die gröberen Züge der von Du Bois nachgewiesenen Gesetze des Muskelstromes. Er fand ferner, daß auch zwischen zwei verschiedenen Punkten des künstlichen oder natürlichen Längsschnittes ein Strom stattfindet, wenn der eine der aufgelegten Punkte dem Ende des Muskels näher liegt als der andere, wie dies Fig. 433 angedeutet ist, und zwar ist der näher am Ende des Längsschnittes gelegene Berührungspunkt stets negativ gegen den anderen.

Fig. 433.



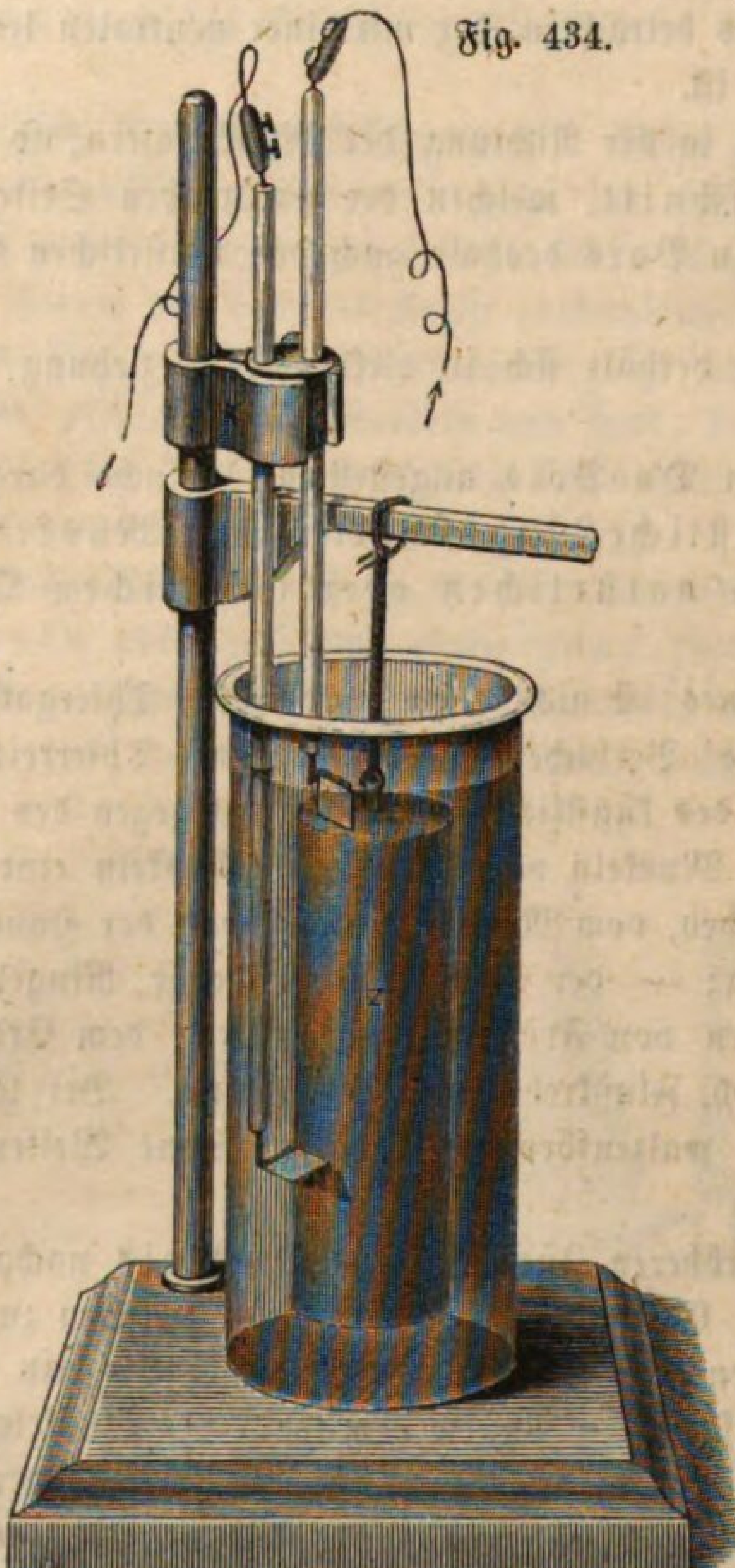
Ebenso fand er, daß die centralen Punkte des Querschnittes negativ sind gegen die mehr nach außen liegenden.

Die zwischen verschiedenen Punkten des Längsschnittes, oder zwischen verschiedenen Punkten des Querschnittes erhaltenen Ströme sind jedoch sehr schwach gegen die zwischen Längsschnitt und Querschnitt erhaltenen.

Du Bois hat folgende Vorrichtung angegeben, welche die Erscheinungen des Muskelstromes sehr treu darstellt. Ein Cylinder von Kupferblech, dessen Mantel verzinkt war, während seine Grundflächen roth blieben, hatte eine Höhe von 155^{mm} und einen Durchmesser von 55^{mm}. Das Zink an seinem Umfange war amalgamirt. Er hing mittelst eines wohlgefirnißten Hakens an einer Schnur in einem mit Wasser gefüllten cylindrischen Glase von 90^{mm}

Durchmesser, Fig. 134. Der Halter, welcher den Cylinder trug, führte zugleich eine Klemme, welche einen doppelt durchbohrten Kork enthielt. In jeder

Fig. 434.



1/5

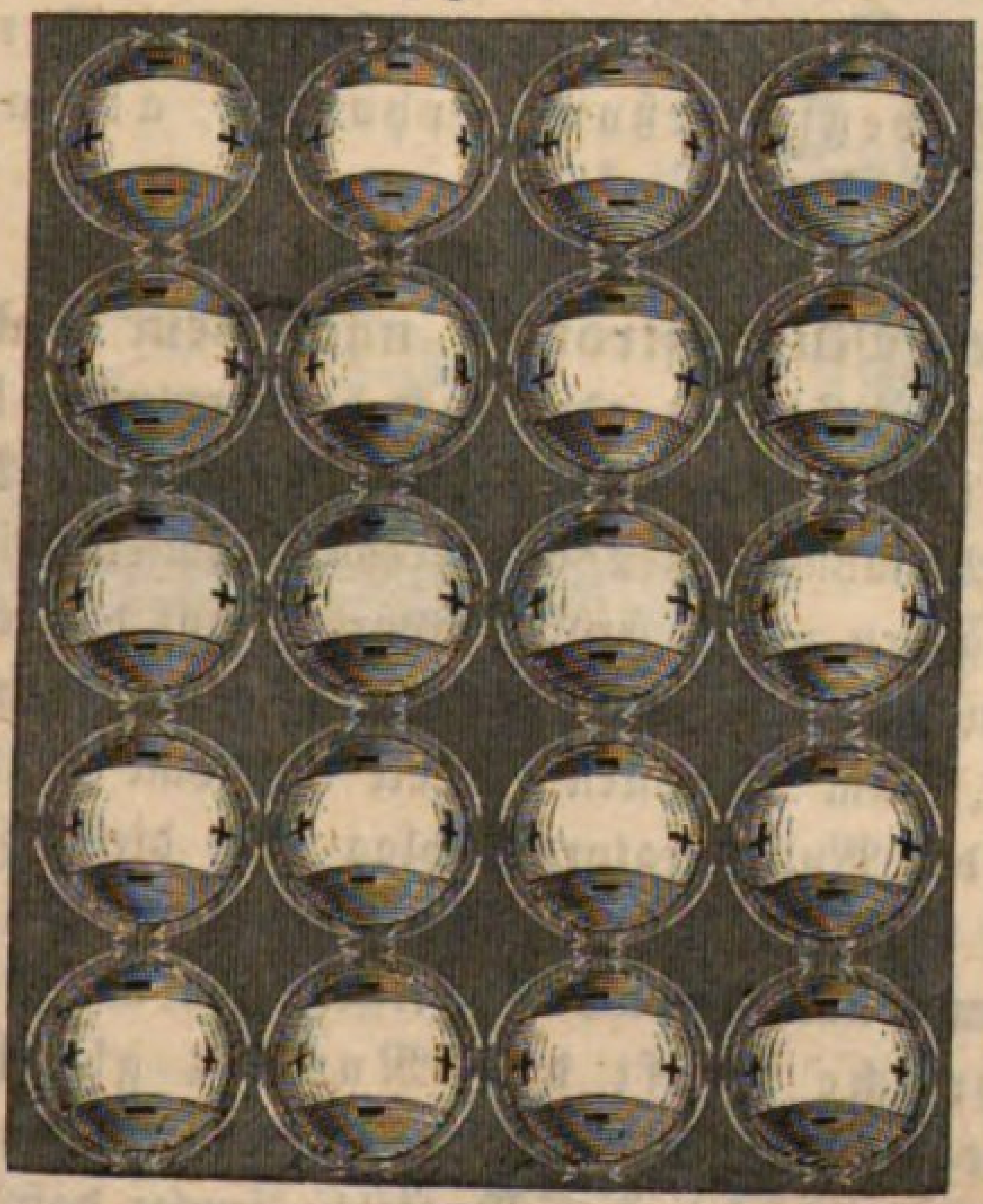
Durchbohrung ließ sich ein Glasrohr auf- und niederschieben, in welches ein übersponnener Kupferdraht eingekittet war. An dem unteren Ende des Drahtes war eine quadratische Platinplatte von 15mm Seite angelöthet. Es versteht sich von selbst, daß der aus dem Glasrohre hervorragende Theil des Kupferdrahtes sammt der Löthstelle hinlänglich stark mit Kitt überzogen ist, so daß das Kupfer durchaus nicht mit der Flüssigkeit in Berührung kommen kann. Die Platinplatten, welche den Zinkseiten des Cylinders gegenüber stehen sollen, haben eine horizontale Lage, während diejenigen, welche den kupfernen Grundflächen gegenüber zu stehen bestimmt sind, eine verticale Stellung haben. Die Enden der oben aus den Glasröhren hervorragenden Drähte waren mit den Enden des Multiplicatordrahtes in Verbindung gebracht.

Die in unserer Figur dargestellte Anordnung gab in der Richtung, welche durch die Pfeilchen an den Zuleitungsdrähten angedeutet ist, einen Strom, welcher einen Ausschlag der Multiplicatornadel um 15 bis 20° bewirkte. — Waren der Mantelfläche gegenüber zwei horizontale Platinplatten so angebracht, daß die eine eben so hoch über dem Höhenmittel des Cylinders sich befand, als die andere unter demselben angebracht war, so erhielt man gar keinen Strom; wurden die beiden Platten bei unveränderter Entfernung in die Höhe gezogen, so zeigte sich ein schwacher Strom, der im Multiplicator einen Ausschlag von 5 bis 10° bewirkte. Eben solche schwache Ausschläge erfolgten, wenn zwei vertical stehende Ableitungsplatten so über die obere Kupferfläche angebracht wurden, daß sie ungleich weit von der Mitte derselben abstanden, daß also die eine dem Rande des Cylinders näher war als die andere.

Nun aber giebt jedes einzelne Bruchstück einer Muskels noch Ströme und zwar stets nach demselben Gesetze; wir müssen demnach annehmen, daß der Muskel aus einer ganzen Reihe elektromotorischer Elemente bestehe, von denen jedes einzelne in der Weise wirkt, wie das Kupferzinkschema Fig. 434.

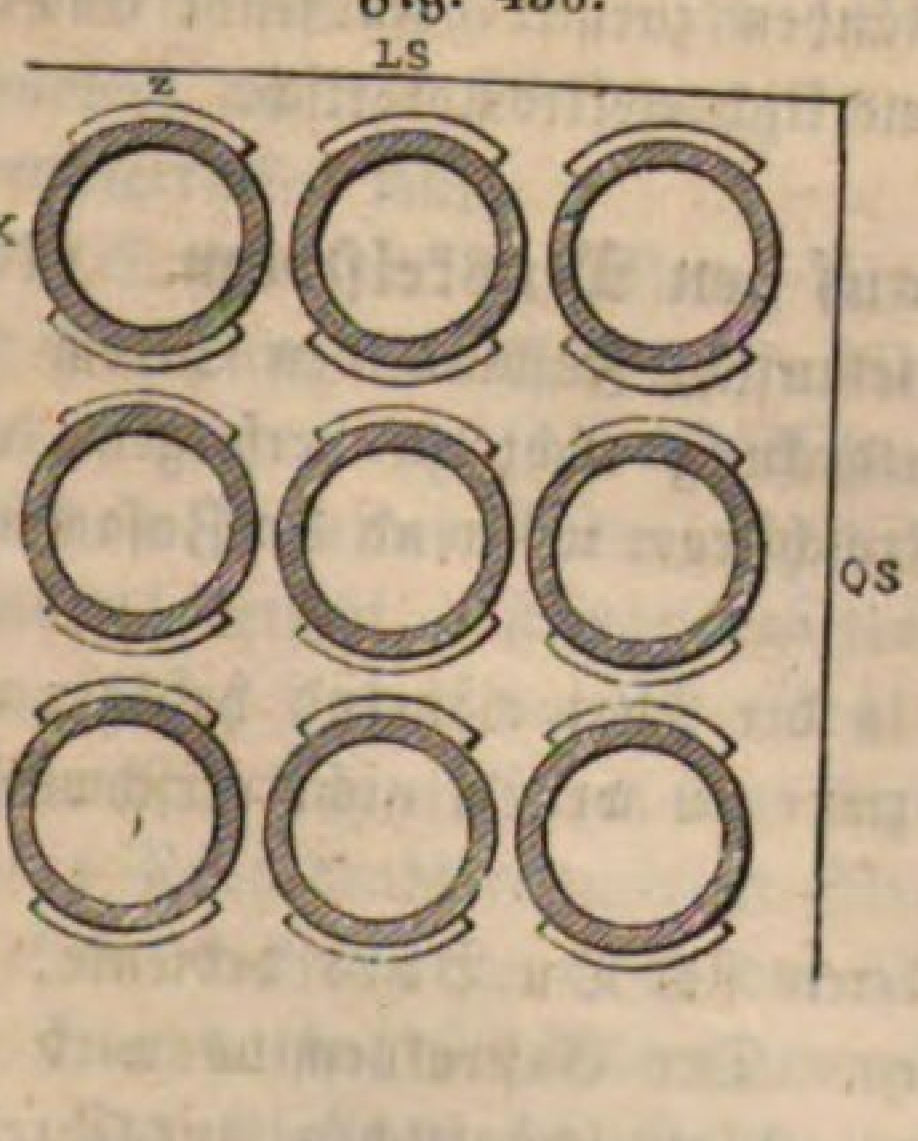
Es ist gleichgültig, welche Form man für diese elektromotorischen Muskelmolekeln annehmen will, nur müssen sie zwei negative Polar- und eine positive Aequatorialzone besitzen; ferner müssen die Axen aller einzelnen Molekeln unter sich und zwar mit der Axe des Muskelbündels parallel sein. Denken wir uns die elektromotorischen Muskelmolekeln kugelförmig, so stellt Fig. 435 nach der oben besprochenen Annahme schematisch einen Muskellängsschnitt dar. Die negativen Polarzonen sind dunkler, die positive Aequatorialzone ist heller gehalten. Die verticale Begränzung stellt den Längsschnitt, die horizontale stellt den Querschnitt dar, der schraffirte Grund ist unwirksamer feuchter Leiter.

Fig. 435.



Auch diese Vorstellungsweise hat Du Bois an einem Zinkkupferschema geprüft; er ließ Röhren aus Kupferblech 11mm im Durchmesser ziehen und dem Mantel derselben entlang, einander diametral entgegengesetzt, zwei Zinkstreifen von solcher Breite auflöthen, daß der Umfang der Röhren dadurch in vier gleich breite Streifen, abwechselnd von Zink und Kupfer, getheilt war. Die Röhren wurden senkrecht auf ihre Axe in lauter 12,5mm lange Stücke geschnitten, das Zink amalgamirt, das Kupfer inwendig gefirnißt und die Elemente, 72 an der Zahl, mit ihren kreisförmigen Rändern, sämmtlich in etwa 1mm Entfernung von einander, in sechs Reihen auf ein Brettchen von 145mm Länge und 85mm Breite so aufgekittet, daß ihre Zinkseiten sämmtlich der langen, ihre Kupferseiten sämmtlich der kurzen Seite des Brettes zugekehrt waren. Fig. 436 stellt ein Stück dieser Vorrichtung im Grundriß von unten gesehen dar.

Fig. 436.



Das Brettchen, welches die 72 Elemente trug, war gefirnißt und an seiner

oberen Fläche mit einem Griff versehen, mittelst dessen dasselbe in einen 182^{mm} langen, 119^{mm} breiten und 6^{mm} hohen mit Wasser gefüllten Trog eingesenkt wurde.

Diese Vorrichtung gab nun zwischen Längs- und Querschnitt 20° Ablenkung, und als die Ableitungsplatten vor dem Längsschnitt allein oder vor dem Querschnitt allein sich befanden, 8 bis 10° in dem durch das Gesetz des Muskelstromes geforderten Sinne.

Aus diesen Untersuchungen geht nun hervor:

1) daß der elektromotorische Muskel fortwährend als im Zustande der geschlossenen Kette befindlich zu denken ist;

2) daß jeder Strom, wie er auch von einem thierischen Erreger gewonnen sei, als durch Nebenschließung erhalten, als abgeleiteter Stromarm betrachtet werden müsse.

167 **Abnahme und Dauer des Muskelstromes nach dem Tode.** Der Muskelstrom ist nach dem Tode des Thieres oder nach der Trennung des Muskels vom Gesammtorganismus in fortwährender Abnahme begriffen. Der Ermittelung des Gesetzes dieser Abnahme setzen sich große Schwierigkeiten entgegen. Nach Matteucci's Angaben zeigen Froschpräparate fünf bis sechs Stunden nach dem Tode, ja einen Tag lang in Wasser aufbewahrt, immer noch, wenn auch schwache Ströme. Am rascheſten ist die Abnahme in den ersten 8 bis 10 Minuten, so daß der Multiplicatorausschlag nach dieser Zeit nur noch halb so groß erscheint als im Anfange.

Die Abnahme des Muskelstromes nach dem Tode betreffend, hat Du Bois gefunden, daß die elektromotorische Kraft des Muskels gleichen Schritt gehe mit seiner Erregbarkeit, daß also der Muskelstrom in demselben Maaße abnehme, wie die Reizbarkeit des Muskels; ferner daß die Todtenstarre die Gränze sei, welche dem Muskelstrome gesetzt ist. Die Erscheinung des Muskelstromes ist dadurch unmittelbar als eine nur an dem lebendigen Gewebe mögliche bezeichnet. Der wegen Todtenstarre verschwundene Strom kehrt unter keinerlei Umständen zurück. Faulende Glieder, nach Lösung der Todtenstarre, wirken nicht merklich elektromotorisch.

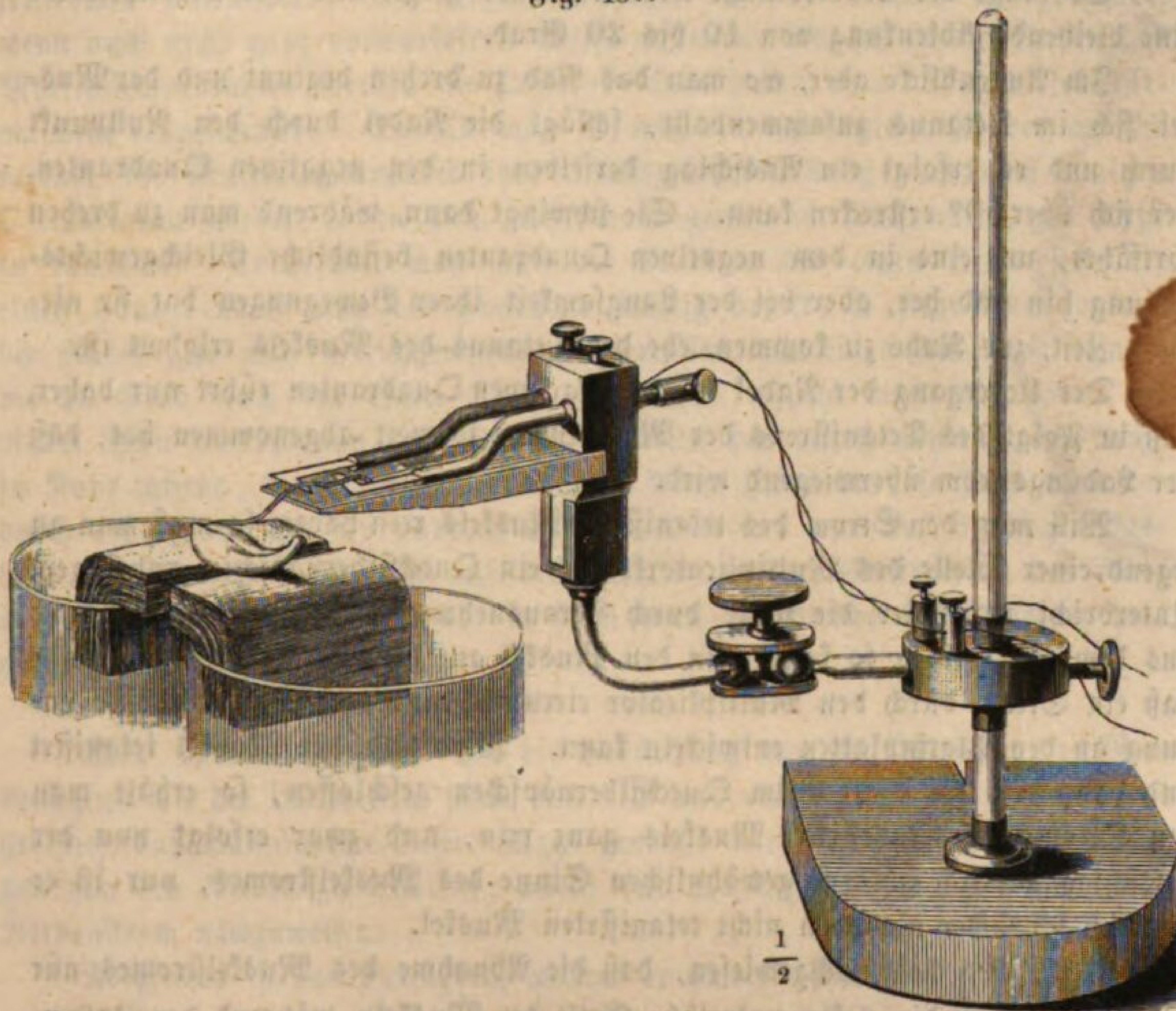
168 **Einfluß der Zusammenziehung auf den Muskelstrom.** Matteucci hatte bereits gefunden, daß der tetanische Zustand den Strom der Muskeln schwäche; allein er wußte diese Entdeckung nicht zu verfolgen, und huldigte später sogar der Ansicht, daß der Froschstrom während der Zusammenziehung an Größe zunehme.

Du Bois lieferte den Beweis, daß in der That während heftiger und andauernder Zusammenziehung der Strom zwar bei weitem nicht verschwindet, allein doch merklich an Intensität abnimmt.

Fig. 437 stellt die Vorrichtung dar, deren sich Du Bois bediente, um den Grundversuch dieses Gebietes anzustellen. Der Gastroknemius wird auf die Bäusche gelegt und sein Nerv über zwei Platinschäufelchen ausgebreitet,

welche in Messingstäbchen eingelassen sind. Diese Messingstäbchen gehen durch einen Kloß von Elfenbein hindurch; sie können vor- und rückwärts geschoben

Fig. 437.



$\frac{1}{2}$

und in jeder beliebigen Stellung festgestellt werden. Am hinteren Ende tragen diese Stäbchen Hülsen, in welche Drähte eingeschraubt werden können, welche die Ströme eines Inductionsapparates zuführen können. Unter den Platinschäufelchen befindet sich eine vorn dünner geschliffene Glastafel, welche in den Elfenbeinkloß eingelassen ist. Sie hat zum Zweck, die Berührung der Platinschaufeln mit den Bäuschen zu verhindern, wenn man die Vorrichtung weiter herunterrücken muß.

Sobald der Muskel auf die Bäusche gelegt wird, fliegt die Nadel gegen die Hemmung und stellt sich endlich bei 10 bis 20 Grad ruhig ein. Nachdem das Nervenende so über die Schaufeln gelegt worden ist, daß es eine Brücke zwischen denselben bildet, wird nun der Muskel dadurch tetanisirt, d. h. in Tetanus versetzt, daß man das Unterbrechungsrad dreht, welches in den Hauptstrom eines Inductionsapparates eingeschaltet ist, während die Drahtenden des Apparates Fig. 437 zu den Drahtenden des Nebendrahtes gehen. Die in diesem Nebendraht inducirten Ströme durchlaufen nun das Stück des Nerven, welches die Brücke zwischen den Platinschaufeln bildet, und dadurch eben wird der Tetanus des Muskels hervorgebracht.

Der Elektromotor, welcher durch den Hauptdraht des Inductionsapparates

geschlossen wurde, war ein Grove'scher Becher, dessen Zinkzelle nur Wasser enthielt.

So lange der Muskel nicht tetanisirt war, zeigte also der Multiplicator eine bleibende Ablenkung von 10 bis 20 Grad.

Im Augenblicke aber, wo man das Rad zu drehen beginnt und der Muskel sich im Tetanus zusammenballt, schlägt die Nadel durch den Nullpunkt durch und es erfolgt ein Ausschlag derselben in den negativen Quadranten, der sich über 50° erstrecken kann. Sie schwingt dann, während man zu drehen fortfährt, um eine in dem negativen Quadranten befindliche Gleichgewichtsstellung hin und her, aber bei der Langsamkeit ihrer Bewegungen hat sie niemals Zeit, zur Ruhe zu kommen, ehe der Tetanus des Muskels erlahmt ist.

Der Uebergang der Nadel in den negativen Quadranten rührt nur daher, daß in Folge des Tetanisirens der Muskelstrom so weit abgenommen hat, daß der Ladungsstrom überwiegend wird.

Will man den Strom des tetanisirten Muskels rein haben, so muß man an irgend einer Stelle des Multiplicatorkreises ein Quecksilbernäpfchen anbringen. Unterbricht man hier die Kette durch Herausnehmen eines Zuleitungsdrahtes aus dem Quecksilber, so kann man den Muskel auf die Bäusche auflegen, ohne daß ein Strom durch den Multiplicator circulirt, und ohne daß sich eine Ladung an den Platinplatten entwickeln kann. Wird nun der Muskel tetanisirt und dann erst die Kette beim Quecksilbernäpfchen geschlossen, so erhält man den Strom des tetanisirten Muskels ganz rein, und zwar erfolgt nun der Ausschlag wirklich in dem gewöhnlichen Sinne des Muskelstromes, nur ist er ungleich schwächer als beim nicht tetanisirten Muskel.

Du Bois hat nachgewiesen, daß die Abnahme des Muskelstromes nur daher rührt, daß die elektromotorische Kraft der Muskeln während der Zusammenziehung abnimmt.

Wenden wir als Rheoskop statt des Multiplicators den stromprüfenden Froschschenkel an, so erhalten wir ein ganz anderes Bild von der Einwirkung der Contraction auf den Muskelstrom. — Soll der Strom durch den Nerven des stromprüfenden Schenkels geleitet werden, so hat man nur den Zwischenraum zwischen den Bäuschen auf der einen Seite mit dem Muskel auf der anderen mit dem Nerven des stromprüfenden Schenkels zu überbrücken. Sobald nun der Gastroknemius tetanisirt wird, geräth der stromprüfende Schenkel in fortwährend heftige Zuckungen. Es beweist dies, daß die scheinbar stetige Zusammenziehung des Muskels aus einer Reihe rasch auf einander folgender Contractionen besteht.

Dieser Versuch ist gewissermaßen eine zweckmäßigere Form der von Matteucci entdeckten secundären Zuckung, welche darin besteht, daß, wenn man den Nerven eines stromprüfenden Froschschenkels auf die Schenkel eines gewöhnlichen Froschpräparates legt, der stromprüfende Schenkel zuckt, so oft man auf irgend eine Weise das Präparat in Zuckungen versetzt, auf welchem sein Nerv liegt. Die wahre Ursache dieser Erscheinung hat Matteucci nicht erkannt.

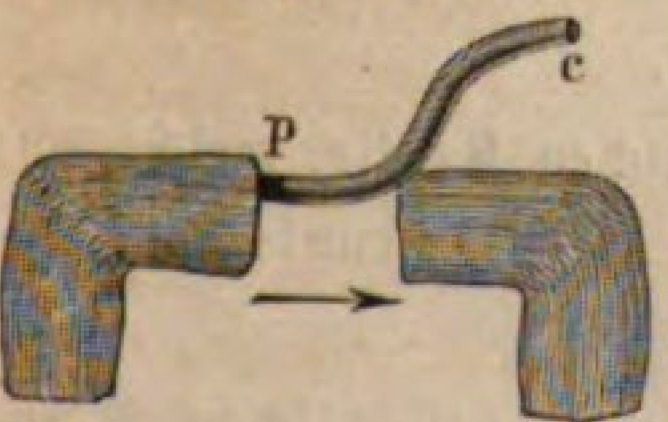
Du Bois hat nachgewiesen, daß durch die willkürliche Contraction der Muskeln der Arme eines lebenden Menschen ebenfalls eine Abnahme des Muskelstromes stattfindet. Am einfachsten läßt sich der Versuch auf folgende, wenn auch nicht ganz vorwurfsfreie Weise anstellen: An die beiden Enden des Multiplicatordrahtes werden die kupfernen Handhaben einer Magnetelektrisirmaschine eingeschraubt. Sobald man sie mit den befeuchteten Händen anfaßt, verläßt die Multiplicatornadel ihre Gleichgewichtsstellung, um nach einigen Oscillationen wieder, wenn auch nicht mehr genau im Nullpunkte, zur Ruhe zu kommen. Contrahirt man nun die Muskeln des einen Arms und der einen Hand, indem man die Handhabe kräftig drückt, so sieht man sogleich die Nadel ihre neue Gleichgewichtslage verlassen, um einen Ausschlag von 5 bis 10 Grad nach der einen Seite zu machen. Zieht man jetzt, wenn die Nadel ihren Rückschwung beginnt, die Muskeln des zuerst contrahirten Arms in Ruhe lassend, die Muskeln des anderen Arms zusammen, so kann man dadurch die Nadel auf der anderen Seite noch weiter aus der Gleichgewichtslage treiben. Wechselt man auf diese Weise mit der Contraction der Arme in den gehörigen Momenten ab, so kann man bedeutende Oscillationen hervorbringen.

Der Nervenstrom. Da die Vorstellung von der Identität des Ner- 169
venagens mit der Elektricität schon eine alte und viel verbreitete ist, so ist begreiflich, daß mannigfache Bestrebungen gemacht wurden, um elektrische Wirkungen von den Nerven zu erhalten; allein erst Du Bois ist es gelungen, den Nervenstrom nachzuweisen.

Folgendes ist das Verfahren, welches er anwendete, um den Nervenstrom zu beobachten und seine Gesetze zu ermitteln.

Ein aus dem Nervus ischiadicus eines frisch getödteten Frosches soeben ausgeschnittenes Stück wird so auf die Bäusche gelegt, daß es einerseits mit dem natürlichen Längsschnitt, andererseits mit dem künstlichen Querschnitt berührt wird, wie dies Fig. 438 angedeutet ist. Auf diese Weise erfolgt ein Ausschlag, der unter Umständen 25 bis 30° betragen kann, sich aber gemeiniglich auf 15 bis 18° beläuft, und welcher ohne Ausnahme vom Punkte des natürlichen Längsschnittes durch den Multiplicatordraht zum künstlichen Querschnitt, also wie beim Muskel, gerichtet ist und eine beständige Ablenkung von 5 bis 8° zurückläßt.

Fig. 438.



Der Nervenstrom folgt denselben Gesetzen wie der Muskelstrom, wir sind also berechtigt, alle Schlüsse, die rein physikalisch für den Muskel aus der Erscheinungsweise seines Stromes folgten, unmittelbar auf den Nerven zu übertragen und elektromotorische Molekeln in den Nerven als Erzeugerinnen des Stromes zu betrachten. Gleich den Muskeln sind demnach die Nerven fortwährend als im Zustande der geschlossenen Kette zu betrachten; wie bei den Muskeln, so ist auch jeder Strom, der von den Nerven gewonnen wird, als

durch Nebenschließung erhalten, als abgeleiteter Stromarm anzusehen; endlich gilt für die Nerven wie für die Muskeln die Bemerkung, daß die Stärke des Stromes, wie er im Multiplicator sich kundgiebt, nicht das Geringste aussage über die Stärke, die dem Strom in der nächsten Nähe der ihn entwickelnden Molekeln zukommen mag.

170 **Der elektrotonische Zustand der Nerven.** Ein Nerv sei auf die Bäusche und die bekannten Platinschäufelchen so aufgelegt, wie es Fig. 439 zeigt. Der Strom des zwischen den Bäuschen befindlichen Nervenstückes wird am Multiplicator eine beständige Ablenkung hervorbringen. Bringt man nun die Stäbchen, in welche die Platinschäufelchen eingelöthet sind, mit dem positiven und negativen Pole eines einfachen Grove'schen Bechers in metallische Verbindung, daß also ein constanter Strom durch das hier aufliegende Nervenstück hindurchgeht, so findet je nach der Richtung dieses Stromes eine Zunahme oder eine Abnahme des am Multiplicator beobachteten Nervenstromes Statt.

Fig. 439.



Hat der Strom der Kette in dem Nerven gleiche Richtung mit dem Nervenstrome in dem Stück Nerv, welches in dem Multiplicatorkreise begriffen ist, wie es unsere Figur andeutet, so findet anscheinend Vergrößerung des Nervenstromes Statt; es findet anscheinend Verkleinerung Statt, wenn beide Ströme in den Nerven entgegengesetzte Richtung haben.

Eine beständige Ablenkung von 8°, welche der ursprüngliche Nervenstrom hervorbrachte, erlitt im einen Falle einen bleibenden Zuwachs von 2 bis 3 Graden, im anderen Falle eine eben so große Abnahme, nachdem im Moment der Schließung der erregenden Kette natürlich ein größerer Ausschlag nach der einen oder anderen Seite erfolgt war.

Den mittelst der Platinschäufelchen durch ein Nervenstück hindurchgeleiteten Strom wollen wir den erregenden Strom nennen.

Den Zustand der Veränderung der elektromotorischen Kräfte, welche durch den erregenden Strom in dem Nerven hervorgebracht wird, nennt Du Bois den elektrotonischen Zustand des Nerven.

Von der Strecke eines im elektrotonischen Zustande befindlichen Nerven, welche Vermehrung ihres ursprünglichen Stromes zeigt, wollen wir sagen, sie sei in der positiven Phase dieses Zustandes begriffen. Die negative Phase desselben schreiben wir der Strecke zu, welche Verminderung ihres ursprünglichen Stromes zeigt.

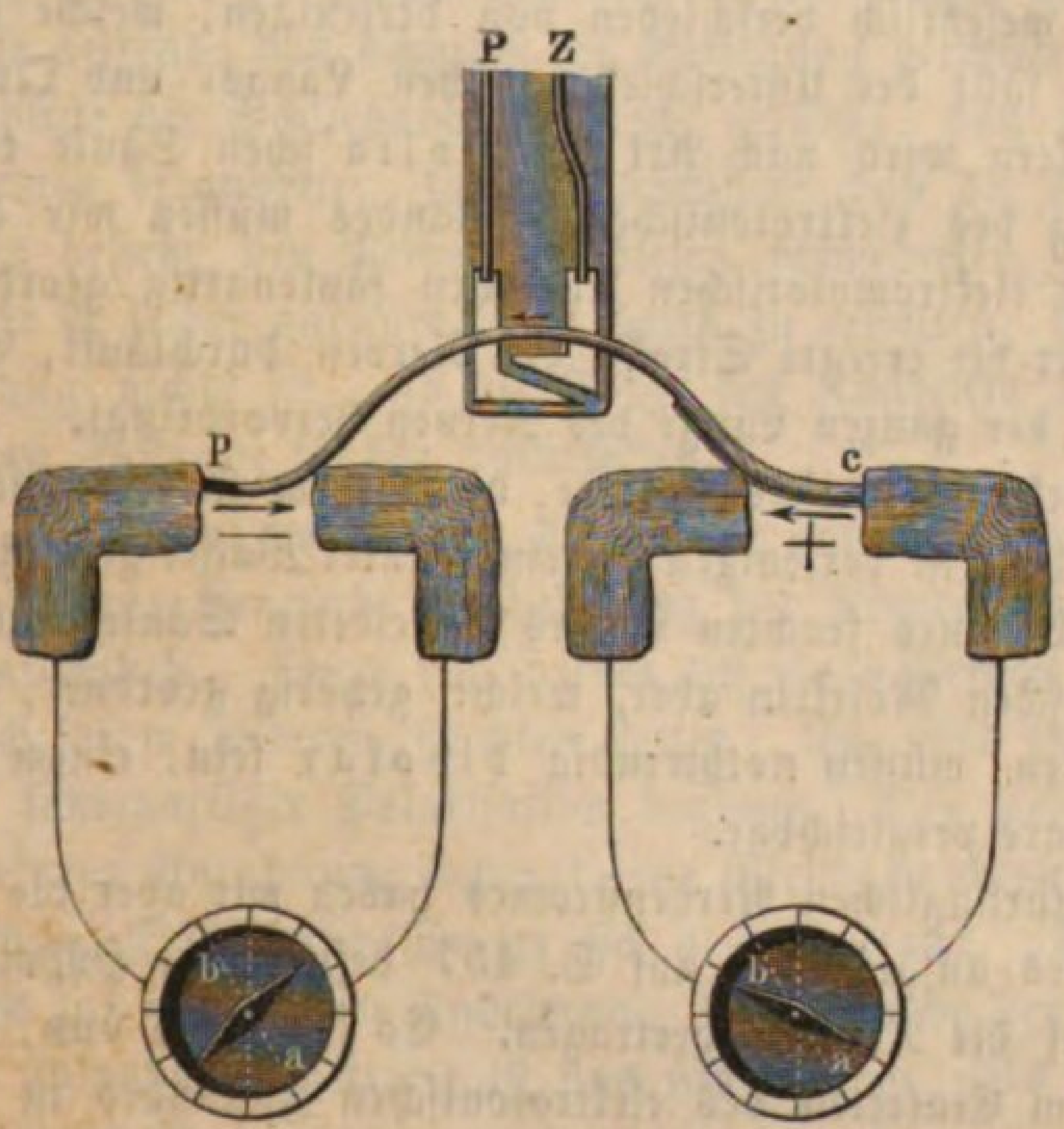
Die Strecke des Nerven, welche auf den Bäuschen ruht, und von welcher der Nervenstrom in den Multiplicatorkreis abgeleitet wird, heiße die abgeleitete Strecke des Nerven; die auf den Platinblechen der stromzuführenden

Vorrichtung liegende, welche dem erregenden Strome ausgesetzt wird, die erregte Strecke desselben.

Der elektrotonische Zustand zeigt sich um so weniger stark, je weiter die abgeleitete Strecke von der erregten ist.

Die Fortpflanzung des elektrotonischen Zustandes wird durch Unterbindung und Durchschneidung gehemmt.

Fig. 440.



Aus den besprochenen Versuchen läßt sich erwarten, daß, wenn die erregte Strecke des Nerven ungefähr in seiner Mitte liegt und seine beiden Enden abgeleitet sind, wie dies Fig. 440 zeigt, man alsdann am einen Nervenende eine Zunahme des Stromes, am anderen dagegen eine Abnahme desselben beobachten werde, wenn ein constanter Strom die erregte Strecke durchläuft.

Zur Anstellung dieses Versuches sind natürlich zwei Multiplicatoren nöthig; ebenso ist klar, daß man ihn nur mit den Nerven von ungewöhnlich großen Fröschen anstellen kann. Du Bois fand unter den angegebenen Umständen wirklich, daß die Ablenkung des einen Multiplicators zu-, die des anderen abnahm.

Wird der Nerv nicht, wie es Fig. 439 zeigt, einerseits mit dem Querschnitt, andererseits mit dem natürlichen Längsschnitt, sondern mit zwei Stellen des natürlichen Längsschnittes auf die Bäusche gelegt, so also, daß der ursprüngliche Nervenstrom ungleich schwächer ist als im vorigen Falle, so tritt beim Schließen der erregenden Kette die fragliche Veränderung im Nervenstrome mit nicht geringerer Stärke ein, als in dem zuerst betrachteten Falle. — Rückt die abgeleitete Strecke der Mitte des ganzen Nervenstückes näher, so wird bekanntlich der Nervenstrom immer schwächer, die Veränderung des Stromes aber nimmt nicht ab, die wir eintreten sehen, wenn die über den Platinschäufelchen liegende Nervenstrecke von einem constanten Strome durchflossen wird. Wenn gerade das Mittelstück des Nerven die abgeleitete Strecke bildet, so zeigt der Multiplicator gar keinen Nervenstrom. Wir sehen aber dieses stromlose Stück sogleich elektromotorisch werden, sobald die erregte Strecke von einem Strome durchlaufen wird, und zwar ist der Strom, welchen die abgeleitete Strecke in diesem Falle liefert, im Nerven gleichgerichtet mit dem erregenden Strome.

30*

Diese ganze Erscheinungsreihe läßt sich kurz so zusammenfassen: Sobald irgend eine Strecke der Länge eines Nerven von einem elektrischen Strome durchflossen wird, fängt der Nerv an, abgesehen von seiner gewöhnlichen Stromentwickelung, in allen seinen Punkten elektromotorisch zu wirken und zwar in dem Sinne jenes erregenden Stromes selber.

Die elektromotorische Thätigkeit, welche wir unter diesen Umständen am Nerven auftreten sehen, ist wesentlich verschieden von derjenigen, welche den Nervenstrom bedingt. Hier fällt der Unterschied zwischen Längs- und Querschnitt ganz weg und der Nerv wird nach Art der Volta'schen Säule elektromotorisch; zur Erklärung des elektrotonischen Zustandes müssen wir also annehmen, daß die einzelnen elektromotorischen Theilchen säulenartig geordnet sind, daß der Strom, welcher die erregte Strecke des Nerven durchläuft, eine säulenartige Polarisation in der ganzen Länge des Nerven hervorbringt.

Die Anordnung der elektromotorischen Kräfte, die wir im elektrotonischen Zustande wirksam werden sehen, ist derjenigen an einer unter Wasser getauchten oder überall mit einer Schicht eines feuchten Leiters bekleideten Säule zu vergleichen. Die elektromotorischen Molekeln aber, welche, gehörig geordnet, das Bild einer Säule geben sollen, müssen nothwendig dipolar sein, einem zusammengelötheten Plattenpaare vergleichbar.

Zur Erklärung des ursprünglichen Nervenstromes haben wir aber die zur Erklärung des Muskelstromes aufgestellte, auf S. 457 besprochene Hypothese peripolarer Molekeln auf die Nerven übertragen. Es fragt sich nun, wie sich diese Annahme mit dem Eintreten des elektrotonischen Zustandes in Zusammenhang bringen läßt?

Du Bois löst diese Schwierigkeit in folgender Weise: — Man kann sich die peripolaren Molekeln aus je zwei dipolaren zusammengesetzt und diese dann in der Weise geordnet denken, wie dies Fig. 441 zeigt. Bei dieser Anordnung der elektromotorischen Moleküle im Nerven wird derselbe den gewöhnlichen Nervenstrom zu entwickeln im Stande sein. Beim Uebergange in den elektrotonischen Zustand trennen sich nun die beiden dipolaren Molekeln, welche vorher zu einem peripolaren verbunden waren, und die Hälfte derselben dreht sich so, daß nun die positiven Enden alle nach einer, die negativen nach der anderen Seite gerichtet sind, wie dies Fig. 442 andeutet.

Fig. 441.

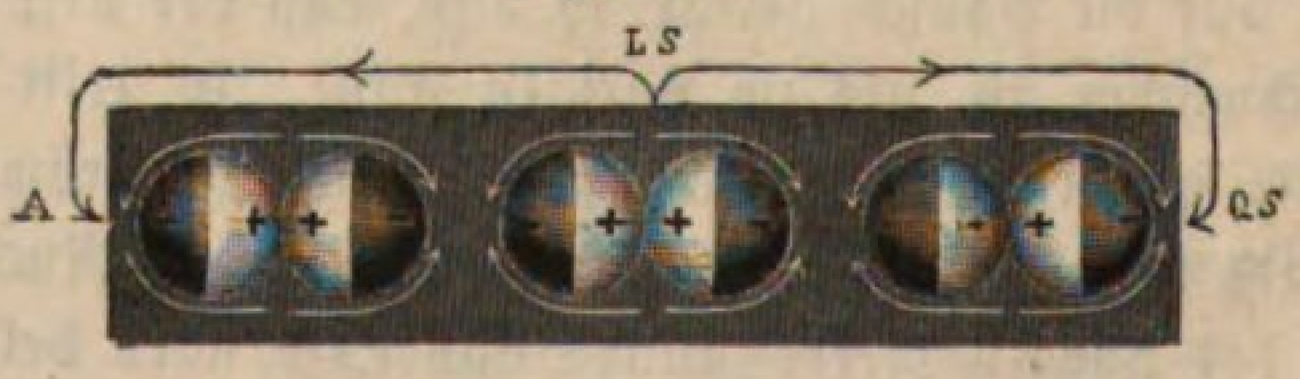


Fig. 442.



Der elektrotonische Zustand bietet in mancher Beziehung Aehnlichkeit mit dem Vorgange der Innervation dar, deshalb aber darf doch die säulenartige Polarisation keineswegs

für einerlei gehalten werden mit dem Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorgange, welcher nur in dem Augenblicke des Hereinbrechens, Aufhörens, Umsetzens des Stromes stattfindet, nur durch Schwankungen der Stromdichte in den Nerven hervorgerufen wird, während der elektrotonische Zustand in gleicher Weise anhält, so lange die Kette geschlossen ist.

Schon damals, als bei Ritter und P. Ermann die ersten Grundzüge einer Theorie der Zuckungen auftauchten, machte sich die folgende Vorstellungsweise geltend: daß nämlich der Bewegung vermittelnde Vorgang, der im Augenblicke der Schließung der Kette entstehe, von dem Uebergange des Nerven in einen veränderten Zustand herrühre; daß die Thätigkeit des Stromes eben darin bestehe, den Nerven in diesen veränderten Zustand zu versetzen und so lange er selber andaure, auch darin zu erhalten; daß nämlich die Oeffnungszuckung nichts sei, als die Folge des Rücktritts des Nerven aus dem veränderten Zustande in den natürlichen.

Du Bois stellt nun die Ansicht auf, daß wir in dem elektrotonischen Zustande jene dauernde Veränderung der Nerven durch den Strom wirklich erkannt haben. Wenn ein Strom auf einen Nerven wirkt, so ergeht es letzterem gleich jedem anderen feuchten Leiter. Es wird Elektrolyse eingeleitet, welche mit säulenartiger Polarisation beginnt. Der Uebergang der natürlichen zur dipolaren Anordnung bedingt jene Gleichgewichtsstörung, die als Schließungszuckung, Schließungsschmerz sich geltend macht. Die Rückkehr von der dipolaren zur natürlichen Anordnung ist es, welche den Oeffnungsschlag veranlaßt. Die galvanische Reizung ist uns nichts mehr, als die erste Stufe der Elektrolyse eines Nerven.

Auch hier zeigt sich wieder eine große Aehnlichkeit mit den Inductionserscheinungen. Will man nun den Vergleich der Induction mit der Nervenerregung vollends durchführen, so ist klar, daß die säulenartige Polarisation der Nerven durch den Strom, Faraday's elektrotonischem Zustande der Materie entspricht; man kann also den in diesem Paragraphen besprochenen Zustand der Nerven nicht passender bezeichnen, als wenn man ihn den elektrotonischen Zustand der Nerven nennt.

Verhalten des Nervenstromes beim Tetanisiren. Um die negative Schwankung des Nervenstromes beim Tetanisiren nachzuweisen, muß 171
man die Erscheinungen des elektrotonischen Zustandes zum Verschwinden bringen, was ganz einfach dadurch geschieht, daß man, statt gleichgerichtete Ströme anzuwenden, den Nerv durch abwechselnd gerichtete Ströme tetanisirt.

Die geeignetste Vorrichtung, um abwechselnd gerichtete Ströme in rascher Aufeinanderfolge durch ein Nervenstück hindurchzusenden, ist nun der Inductionsapparat, da ja die Schließung des Hauptstromes von einem entgegengesetzt gerichteten, die Oeffnung desselben von einem gleichgerichteten Strome im Nebendrahte, in dessen Schließungsbogen das Nervenstück eingeschaltet ist, begleitet wird.

Der Erfolg des Tetanisirens mit abwechselnden Strömen, wenn Längs- und Querschnitt auf den Bäuschen aufliegen, ist nun wirklich eine rückgängige Bewegung der Nadel nach dem Nullpunkte hin, unter günstigen Umständen bis in den negativen Quadranten hinein.

Sind beide Enden des Nerven abgeleitet, wie Fig. 440 zeigt, so machen beide Multiplicatornadeln eine rückgängige Bewegung, wenn die erregte Nervenstrecke durch abwechselnd gerichtete Ströme tetanisirt wird, während, wie wir oben sahen, bei Anwendung beständiger Ströme die eine Hälfte des Nerven in die positive, die andere in die negative Phase des elektrotonischen Zustandes tritt, also die Ablenkung der Nadel im einen Multiplicator zu-, im anderen abnimmt.

Das Ergebniß des Tetanisirens der Nerven mit abwechselnden Strömen stimmt also genau überein mit dem elektromotorischen Ergebniß der Muskelzusammenziehung.

Auch beim Tetanisiren auf nicht elektrischem Wege wies Du Bois die negative Stromesschwankung nach. Zu diesen Versuchen wendete er einen Multiplicator von 24160 Windungen an.

So ist denn der Beweis geliefert, daß das Tetanisiren der Nerven von einer Schwankung des ursprünglichen Nervenstromes in negativem Sinne begleitet ist, welche, vom elektrotonischen Zustande unabhängig, nichts Anderem zugeschrieben werden kann, als einer Verminderung der nach Außen gerichteten elektromotorischen Kräfte des Nerven. Diese negative Stromesschwankung ist nun wohl nichts Anderes, als der elektrische Ausdruck des Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorganges.

172 **Elektrische Fische.** Man weiß schon seit langer Zeit, daß der Zitterrochen die Eigenschaft hat, der Hand, die ihn angreift, eigenthümliche Schläge zu ertheilen. Um diese Wirkungen zu erklären, nahm man früher an, daß der Zitterrochen lähmende Moleküle aussende, daß er wie eine Feder wirke, welche losgeschnellt, oder wie ein in Vibrationen befindlicher tönender Körper (Réaumur Académie des Sciences 1714). Als aber Musschenbroeck zum Erstenmale den Schlag einer Leydner Flasche verspürte, hatte er die glückliche Idee, ihn mit dem Schlage des Zitterrochens zu vergleichen und so zwei Erscheinungen, deren Ursprung ganz verschieden schien, auf eine gemeinschaftliche Ursache zurückzuführen. Nun wurde auch der Zitteraal und ähnliche Fische, die man Zitterfische genannt hat, mit dem richtigeren Namen elektrische Fische bezeichnet.

Zu den bis jetzt genauer bekannten elektrischen Fischen gehören 1) aus der Familie der Rochen: die Zitterrochen, Torpedo narce, sive marmorata, Torpedo galvanii und Narcine brasiliensis. 2) Aus der Familie der Aale: der Zitteraal, Gymnotus electricus, der Zitterwels, Malapterurus (Silurus) electricus. Die beiden Arten von Torpedo finden sich im mittelländischen Meere und in dem atlantischen Oceane, selten in der Nordsee; die Zitteraale

in den Landseen von Südamerika, besonders in Guyana, der Zitterwels im Nil, dem Niger und in anderen afrikanischen Flüssen.

Nach älteren Nachrichten sollen noch Rhinobatus electricus, Tetrodon electricus und Trichiurus electricus elektrische Eigenschaften haben, doch sind wohl diese Angaben noch als sehr problematisch anzusehen.

Die ersten einigermaßen genauen Untersuchungen über die elektrischen Wirkungen des Zitterrochens sind von Walsh angestellt worden. Er stellte seine Versuche im Jahre 1772 an.

Wenn man durch den menschlichen Körper eine leitende Verbindung zwischen dem Bauch und dem Rücken des Thieres herstellt, so erhält man eine dem Entladungsschlag der Leydner Flasche ähnliche Erschütterung. Am besten zeigt sich die Erscheinung, wenn man den Zitterrochen mit dem Bauch auf einen metallenen Teller legt, mit einer Hand den Teller und mit der anderen den Rücken des Thieres berührt. Dieser Schlag ist selbst durch eine Reihe von mehreren Personen noch fühlbar, von denen die erste den Fisch am Leib, die letzte am Rücken anfaßt. Die geringste Unterbrechung der Leitung im Schließungsbogen verhindert den Schlag.

Im Wasser sind die Schläge immer weniger intensiv als in der Luft, man erhält sie aber auf dieselbe Weise und unter denselben Bedingungen. Da das Wasser ein ziemlich guter Leiter ist, so begreift man, daß ein kräftiger Zitterrochen in die Ferne wirken kann, und daß es nicht mehr nöthig ist, ihn direct zu berühren. Walsh hat in der That beobachtet, daß der Zitterrochen auf einige Entfernung hin kleine Fische erschlägt, oder wenigstens betäubt.

Wenn der Zitterrochen einen Schlag giebt, so ist es stets ein willkürlicher Act; manchmal kann man ihn mehreremal hinter einander ohne Erfolg berühren, wenn man ihn aber reizt, indem man ihn in die Floßfedern kneift, so kann man fast immer sicher sein, verstärkte Schläge zu erhalten. Walsh hat manchmal an funfzig Entladungen in einer Minute gezählt.

J. Davy hat zuerst die Identität der Elektricität des Zitterrochens mit der Reibungs- und Berührungselektricität factisch dargethan, indem er mittelst derselben Stahlnadeln magnetisirte, die Magnetnadel ablenkte und chemische Wirkungen hervorbrachte.

Becquerel und Breschet haben mehrere interessante Beobachtungen an Zitterrochen von Chioggia nahe bei Venedig gemacht. Sie haben z. B. mit Hülfe eines guten Galvanometers dargethan, daß der positive Strom immer vom Rücken durch das Galvanometer zum Bauch geht; sie haben auch von Neuem bestätigt, daß der Zitterrochen willkürlich an den verschiedenen Stellen seines Körpers Schläge geben kann.

Matteucci, welcher ebenfalls interessante Versuche über die Zitterrochen des adriatischen Meeres gemacht hat, ist dahin gelangt, durch die Elektricität dieser Thiere vollkommen sichtbare Funken zu erhalten. Er applicirte zu diesem Zweck zwei metallische Armaturen, die eine auf dem Rücken, die andere auf dem Bauche des Fisches; mit jeder dieser Armaturen setzte er ein Goldblättchen in Verbindung und brachte dann die beiden Goldblättchen sehr nahe

an einander; so oft nun das Thier gereizt wurde, sprang ein Funken zwischen den Goldblättchen über.

Matteucci fand auch die schon von Becquerel und Breschet gemachte Beobachtung bestätigt, daß der Rücken positiv, der Bauch negativ elektrisch ist.

Auch Linari hat in der neuesten Zeit diese Untersuchungen mit Erfolg fortgesetzt, er hat ebenfalls Funken zu gewinnen gewußt und an einem empfindlichen Condensator Zeichen elektrischer Spannung erhalten.

Der Zitteraal, Fig. 443, welcher auch der surinamische Aal genannt

Fig. 443.



wird, hat eine noch weit größere elektrische Kraft als der Zitterrochen. Walsh ließ sich Gymnoten von Surinam kommen, mit welchen er die Resultate bestätigte, die er einige Jahre vorher an dem Zitterrochen erhalten hatte; er machte aber außerdem noch die wichtige Beobachtung, daß sich der Schlag des Zitteraals von einem Leiter zu einem anderen durch eine dünne Luftschicht hindurch fortpflanzen kann und daß man in diesem Falle einen elektrischen Funken überspringen sieht.

Humboldt hat in Amerika gemeinschaftlich mit Bonpland eine Menge Versuche mit Zitteraalen gemacht; wir wollen hier anführen, was er über die eigenthümliche Lebensart dieser Fische und über die Art sagt, wie sie gefangen werden.

»— Aber nicht die Krokodile und der Jaguar allein stellen den südamerikanischen Pferden nach; auch unter den Fischen haben sie einen gefährlichen Feind. Die Sumpfwasser von Bera und Rastro sind mit zahllosen elektrischen Aalen gefüllt, deren schleimiger, gelbgefleckter Körper aus jedem Theile die erschütternde Kraft nach Willkür aussendet. Diese Gymnoten haben 5 bis 6 Fuß Länge. Sie sind mächtig genug, die größten Thiere zu tödten, wenn sie ihre nervenreichen Organe auf einmal in günstiger Richtung entladen. Die Steppenstraße von Uritucu mußte einst verändert werden, weil sie sich in solcher Menge in einem Flüßchen angehäuft hatten, daß jährlich vor Betäubung viele Pferde in der Furt ertranken. Auch fliehen alle anderen Fische die Nähe dieser furchtbaren Aale. Selbst den Angelnden am hohen Ufer schrecken sie, wenn die feuchte Schnur ihm die Erschütterung aus der Ferne zuleitet. So bricht elektrisches Feuer tief aus dem Schooße der Gewässer aus.

»Ein malerisches Schauspiel gewährt der Fang der Gymnoten. Man jagt Maulthiere und Pferde in einen Sumpf, den die Indianer eng umzingeln, bis der ungewohnte Lärmen die muthigen Fische zum Angriffe reizt. Schlangenartig sieht man sie auf dem Wasser schwimmen und sich verschlagen unter

den Bauch der Pferde drängen. Von diesen erliegen viele unter der Stärke unsichtbarer Schläge. Mit gesträubter Mähne, schnaubend, wilde Angst im funkelnden Auge, fliehen andere das tobende Ungewitter. Aber die Indianer, mit langen Bambusstäben bewaffnet, treiben sie in die Mitte der Lache zurück.

»Allmälig läßt die Wuth des ungleichen Kampfes nach. Wie entladene Wolken zerstreuen sich die ermüdeten Gymnoten. Sie bedürfen einer langen Ruhe und einer reichlichen Nahrung, um zu sammeln, was sie an galvanischer Kraft verschwendet haben. Schwächer und schwächer erschüttern nun allmälig ihre Schläge. Vom Geräusche der stampfenden Pferde erschreckt, nahen sie sich furchtsam dem Ufer, wo sie durch Harpunen verwundet und mit dürrem, nicht leitendem Holze auf die Steppe gezogen werden.

»Dies ist der wunderbare Kampf der Pferde und Fische. Was unsichtbar die lebendige Waffe dieser Wasserbewohner ist, was, durch die Berührung feuchter und ungleichartiger Theile erweckt, in allen Organen der Thiere und Pflanzen umtreibt, was die weite Himmelsdecke donnernd entflammt, was Eisen an Eisen bindet und den stillen wiederkehrenden Gang der leitenden Nadel lenkt, Alles, wie die Farbe des getheilten Lichtstrahls, fließt aus einer Quelle; Alles schmilzt in eine ewige, allverbreitete Kraft zusammen.«

Das Organ, in welchem sich die Elektricität entwickelt, hat bei den verschiedenen elektrischen Fischen im Wesentlichen dieselbe Textur, dasselbe Ansehen, obgleich seine Gestalt, seine Größe und seine Anordnung verschieden ist. Wir wollen nun versuchen, eine Idee von dem Organe des Zitterrochens zu geben, welches am genauesten untersucht worden ist.

Fig. 444.



Die Fig. 444. stellt einen Zitterrochen von oben gesehen dar, welcher auf der einen Seite geöffnet ist, so daß man das elektrische Organ sieht. Es geht vorn bis dicht an den Vorderrand des Kopfes, seine obere Fläche stößt mittelst einer faserigen Haut an die Haut des Rückens, seine untere an die des Bauches, seine äußere Fläche ruht an dem Knorpel der Seitenflosse, seine innere an dei Musculatur des Kopfes und des vorderen Theiles des Rumpfes. Von oben oder unten gesehen, zeigt das elektrische Organ polygonale oder rundliche Abtheilungen, Fig. 445; von der Seite aber sieht man parallele Streifen, wie Fig. 446 zeigt. Das

Fig. 445.

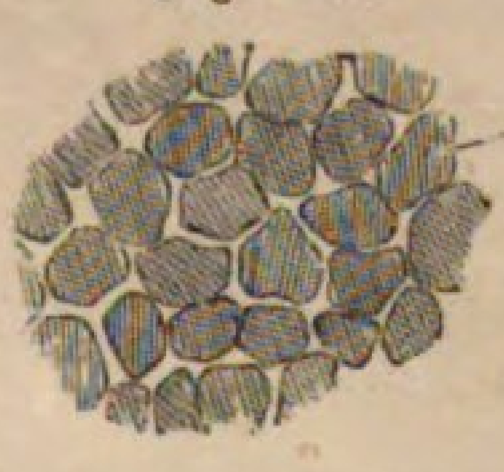


Fig. 446.



ganze Organ besteht also aus einer Menge polygonaler oder rundlicher Säulchen, deren Axe die Richtung vom Bauche zum Rücken hat. Die Randbegränzung jeder Säule bildet eine etwas dichtere sehnigte Membran, welche, wie es scheint, dieselben Dienste leistet, wie die Glasstäbe, zwischen welchen die galvanische Säule aufgebaut wird. Jedes Säulchen besteht aus einer Menge auf einander geschichteter feiner Blättchen; diese kleinen, bald ebenen, bald gebogenen Blättchen sind durch sehr klebrige Schleimschichten von einander getrennt, und somit bieten diese Säulchen in ihrer Construction eine große Aehnlichkeit mit einer aufgebauten galvanischen Säule dar.

Man zählt bei dem Zitterrochen gewöhnlich 400 bis 500 solcher Säulchen auf jeder Seite desselben; Hunter zählte deren sogar bei einem sehr großen Exemplare von $4^1/_2$ Fuß Länge 1184. Vier starke Nervenbündel, *d, e, f* und *g*, Fig. 444, vertheilen sich in das elektrische Organ.

Bei dem Zitteraal liegt das elektrische Organ in dem sehr langen Schwanze. Bei diesem Thiere nämlich liegt der After so weit nach vorn, daß der Schwanz des Gymnotus fast $4^1/_2$mal so lang ist als Kopf und Rumpf zusammengenommen; das elektrische Organ liegt fast der ganzen Länge des Schwanzes nach auf jeder Seite und unterhalb desselben, so daß der elektrische Apparat dieses Thieres eine bedeutende Ausdehnung hat, woher es denn auch kommt, daß der Zitteraal so außerordentlich starke Schläge ertheilen kann.

Bei dem Gymnotus stehen die Säulchen, welche das elektrische Organ bilden, nicht senkrecht wie beim Zitterrochen, sondern sie laufen in der Richtung des Schwanzes fort, so daß die Scheibchen, aus denen sie bestehen, senkrecht stehen; daher kommt es denn auch, daß beim Zitteraal der positive Strom in der Richtung vom Kopfe nach dem Schwanze, also nicht wie beim Zitterrochen vom Rücken zum Bauche geht.

Fünftes Buch.

Von der Wärme.

Erstes Capitel.

Ausdehnung durch die Wärme.

Das Thermometer. Unser Gefühlsvermögen unterscheidet verschiedene Zustände an den Körpern, die wir mit heiß, warm, kalt u. s. w. bezeichnen. Wenn ein Körper, den wir kalt nennen, warm wird, wenn er heiß wird, so nimmt er auch an Volumen zu, er dehnt sich aus. 173

Die Ursache, welche diese Ausdehnung der Körper bewirkt, und welche zugleich die verschiedenen eben erwähnten Empfindungen unseres Gefühlvermögens veranlaßt, nennt man Wärme.

Die Wärme bewirkt nicht allein eine Ausdehnung der Körper, sondern sie ist auch im Stande, die Aggregatzustände der Körper zu verändern, sie bewirkt die Schmelzung fester und die Verdampfung flüssiger Körper. Wir wollen nun im Folgenden die Gesetze dieser Erscheinungen näher betrachten.

Da alle Körper durch die Wärme ausgedehnt werden und da das Volumen eines Körpers von dem Grade seiner Erwärmung abhängt, so kann die Ausdehnung eines Körpers dazu dienen, um den Grad seiner Erwärmung zu messen. Man nennt die Temperatur eines Körpers den Grad seiner Erwärmung, die Instrumente aber, welche man anwendet, um die Temperatur zu bestimmen, nennt man Thermometer.

Fig. 447 (a. f. S.) stellt ein Quecksilberthermometer dar. An dem unteren Ende einer engen Glasröhre befindet sich ein kugelförmiges oder cylindrisches Gefäß; dies Gefäß und ein Theil der Röhre ist mit Quecksilber gefüllt. Durch Erwärmung vermehrt sich das Volumen des Quecksilbers, es steigt in der Röhre, und man sagt, die Temperatur sei erhöht worden. Wenn die Kugel erkaltet, vermindert sich das Volumen des Quecksilbers wieder, das Quecksilber sinkt in der Röhre, und man sagt, die Temperatur sei gefallen.

Bei gleicher Temperatur nimmt der Gipfel der Quecksilbersäule auch stets

dieselbe Stelle in der Röhre ein. Wenn man ein anderes größeres oder kleineres Thermometer mit dem ersteren vergleicht, so werden beide mit einander steigen und fallen; aber die absolute Größe des Steigens und Fallens kann doch sehr verschieden sein. Wenn z. B. die beiden Kugeln gleich sind, aber die eine Röhre einen zehnmal größeren Querschnitt als die andere hat, so würde bei gleicher Temperaturerhöhung das Quecksilber in der engen Röhre zehnmal so hoch steigen als in der anderen.

Fig. 447.

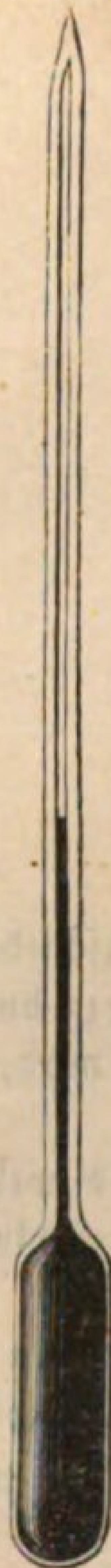


Fig. 448.



Ein solches Thermometer kann nur dazu dienen, zu sehen, ob eine bestimmte Temperatur stattfindet, oder ob sie höher oder tiefer sei, je nachdem der Gipfel der Quecksilbersäule in der Röhre an einer bestimmten Stelle höher oder tiefer steht. Ein solches Instrument würde schon von einigem Nutzen für die Wissenschaft sein; durch die Graduirung aber werden die Thermometer doch eigentlich erst brauchbare Instrumente, denn durch die Graduirung ist es möglich, die Temperaturen in Zahlen auszudrücken, sie zu vergleichen und die Gesetze der Wärme auszumitteln.

Zur Construction von Thermometern darf man natürlich nur solche Glasröhren anwenden, welche ihrer ganzen Länge nach gleich weit sind, was man daran erkennt, daß ein Quecksilberfaden, den man in einer solchen Röhre hin und her laufen läßt, an allen Stellen derselben gleiche Länge hat.

Nachdem an der Röhre ein Gefäß angeblasen worden ist, wird dasselbe mit Quecksilber gefüllt. Um das Quecksilber einzufüllen, wird an das obere Ende der Röhre ein Stück einer weiteren Glasröhre angelöthet und eine genügende Menge Quecksilber in das dadurch gebildete trichterförmige Gefäß *h*, Fig. 448, gegossen. Erwärmt man nun das Gefäß *t*, so dehnt sich die darin enthaltene Luft aus und entweicht in Bläschen durch das Quecksilber in *h*. Beim Erkalten von *t* zieht sich die ausgedehnte Luft wieder zusammen, und aus *h* dringt jetzt das Quecksilber durch die enge Röhre in das Gefäß *t*, um die Stelle der durch Erwärmung ausgetriebenen Luft einzunehmen. Auf diese Weise wird ein Theil des Gefäßes *t* mit Quecksilber gefüllt. Bei abermaliger Erwärmung des Gefäßes *t* wird von Neuem ein Theil der eingeschlossenen Luft ausgetrieben; die Erwärmung wird aber jetzt so weit fortgesetzt, bis das Quecksilber in *t* ins Kochen kommt, und nun nehmen die mit Heftigkeit entweichenden Dämpfe des Quecksilbers die noch übrige Luft vollständig mit fort. Beim Erkalten verdichten sich die Dämpfe in *t*, und aus *h* sinkt nun das Quecksilber herab, um den leeren Raum in *t* auszufüllen.

Ist auf diese Weise das Gefäß t sammt der Röhre mit Quecksilber gefüllt und der Apparat vollständig erkaltet, so wird das überflüssige Quecksilber aus h ausgegossen und dann die Röhre dicht unter diesem Gefäße h vor der Glasbläserlampe zu einer feinen Spitze ausgezogen.

Ehe das Thermometer verschlossen wird, muß es regulirt werden, d. h. man erwärmt die Kugel noch etwas über die höchste Temperatur, welcher das Thermometer ausgesetzt werden soll, und schmilzt dann die Spitze der Röhre zu, während dieselbe vollständig mit Quecksilber gefüllt ist.

Das Graduiren der Thermometer besteht darin, daß man zwei fixe Punkte auf der Röhre markirt und den Zwischenraum (den Fundamentalabstand) in gleiche Theile theilt. Für die festen Punkte nimmt man in der Regel den Gefrierpunkt und den Siedepunkt des Wassers. Um den Gefrierpunkt zu bestimmen, steckt man die Thermometerkugel und die Röhre, soweit das Quecksilber in derselben reicht, in ein Gefäß mit fein gestoßenem Eise oder Schnee, Fig. 449. Wenn die Temperatur der Umgebung höher ist als der Gefrierpunkt, so schmilzt das Eis, und die ganze Masse nimmt die fixe Temperatur des Gefrierpunktes an. Bald nimmt auch das Thermometer diese Temperatur an und bleibt nun vollkommen stationär; man hat alsdann nur mit Genauigkeit den Punkt der Röhre zu markiren, wo gerade der Gipfel der Quecksilbersäule steht. Man bezeichnet diesen Punkt zuerst mit Tusch und alsdann mit einem Diamant.

Fig. 449.

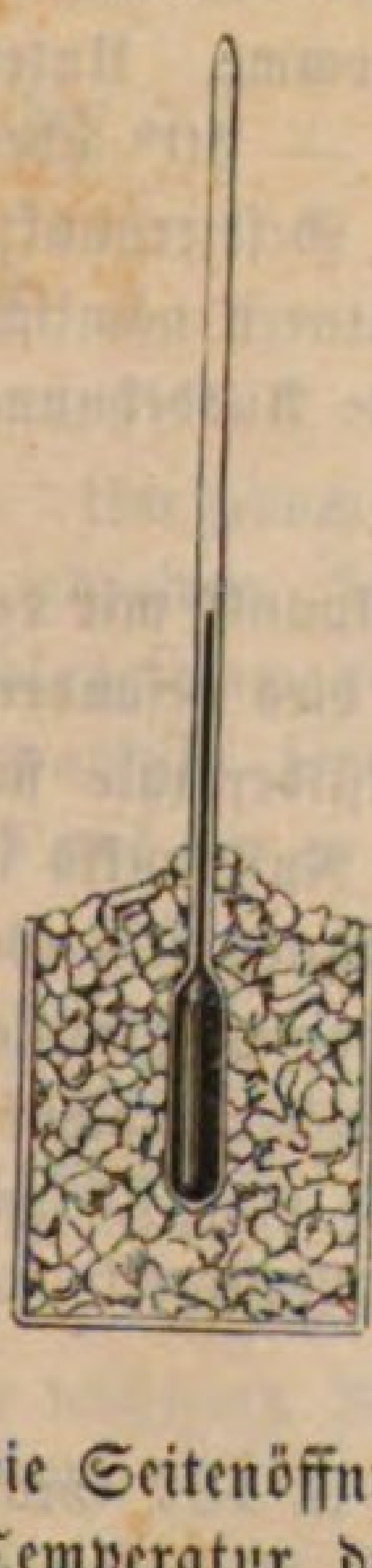


Fig. 450.



Um den Siedepunkt zu bestimmen, nimmt man ein Gefäß mit langem Halse, Fig. 450, in welchem man destillirtes Wasser zum Kochen bringt; nachdem es einige Zeit gekocht hat, sind alle Theile des Gefäßes gleichmäßig erwärmt und der Dampf entweicht durch die Seitenöffnungen; das Thermometer ist alsdann von Dampf umgeben, dessen Temperatur dieselbe ist wie die der obersten Wasserschicht. Das Quecksilber steigt bald bis zu einem Punkte, auf dem es fest stehen bleibt und den es nicht überschreitet. Man bezeichnet diesen Punkt wie den Gefrierpunkt. Wenn in diesem Augenblicke die Barometerhöhe nicht gerade 760 Millimeter ist, so ist

eine Correction anzubringen, deren Werth weiter unten, wo vom Sieden die Rede sein wird, angegeben werden soll.

Zur Bestimmung des Siedepunkts kann man auch den aus der Abbildung schon hinlänglich verständlichen Apparat, Fig. 451, anwenden.

Fig. 451.



Der Zwischenraum der beiden fixen Punkte wird nun in eine bestimmte Anzahl gleicher Theile getheilt, und so erhält man die Thermometerscala.

Alle Thermometer, welche auf diese Weise construirt sind und bei denen der Fundamentalabstand in eine gleiche Anzahl von Theilen getheilt ist, sind vergleichbare Instrumente, d. h. sie zeigen bei gleichen Temperaturen eine gleiche Zahl von Graden.

Beim Centesimalthermometer ist der Fundamentalabstand in 100 gleiche Theile getheilt.

Man kann Quecksilberthermometer construiren, welche bis zu 360 dieser Grade gehen, weiter aber nicht, weil man sonst dem Siedepunkte des Quecksilbers (400°) zu nahe kommt. Unter Null sind die Angaben des Quecksilberthermometers richtig bis — 30° oder — 35°. Bei noch geringerer Temperatur kommt man dem Gefrierpunkte des Quecksilbers (— 40°) zu nahe. In der Nähe der Temperaturen nämlich, bei welchen die Körper ihren Aggregatzustand ändern, ist ihre Ausdehnung nicht mehr regelmäßig.

Man hat beobachtet, daß bei vielen Thermometern der Nullpunkt mit der Zeit steigt, als ob die Kugel kleiner geworden wäre. Man hat dies besonders bei solchen Thermometern bemerkt, bei welchen über der Quecksilbersäule sich ein leerer Raum befindet. Die Ursache dieser Verrückung des Nullpunkts ist demnach wahrscheinlich der Druck der äußeren Luft, dem von innen kein Gegendruck entgegenwirkt, und der demnach die Kugel bis zu einer gewissen Grenze zusammendrückt. Es ist deshalb zu rathen, die Thermometer, nachdem man sie zugeschmolzen hat, einige Monate liegen zu lassen, bevor man sie graduirt. Auch darf man nicht versäumen, von Zeit zu Zeit die Richtigkeit des Nullpunkts zu prüfen.

Nicht bei allen Thermometern ist der Fundamentalbestand in 100 Grade getheilt. In Deutschland und Frankreich ist das Réaumur'sche Thermometer noch sehr verbreitet, bei welchem dieser Abstand in 80 Grade getheilt ist, obgleich man sich bei wissenschaftlichen Untersuchungen jetzt fast allgemein des von Celsius zuerst angegebenen hunderttheiligen Thermometers bedient. Es ist

jedoch leicht, Celsius'sche Grade auf Réaumur'sche zu reduciren, und umgekehrt; denn da

$$100^0 \text{ C.} = 80^0 \text{ R.},$$

so ist

$$1^0 \text{ C.} = 0{,}8^0 \text{ R.}$$

und

$$1^0 \text{ R.} = 1{,}25^0 \text{ C.}$$

Es sind demnach x^0 C. $= x \cdot 0{,}8^0$ R. und n^0 R. $= n \cdot 1{,}25^0$ C. Man kann dies in Worten so ausdrücken: Um Réaumur'sche Grade in Celsius'sche zu verwandeln, multiplicirt man die Zahl der Réaumur'schen Grade mit 1,25 oder mit $^5/_4$. Will man umgekehrt Celsius'sche Grade in Réaumur'sche verwandeln, so multiplicirt man die gegebene Gradzahl mit 0,8 oder, was dasselbe ist, mit $^4/_5$.

In England bedient man sich ausschließlich der Fahrenheit'schen Scala, deren Nullpunkt nicht mit dem der beiden eben erwähnten zusammenfällt. Der Nullpunkt des Fahrenheit'schen Thermometers trifft mit dem Theilstriche — $17^7/_9$ der Celsius'schen Scala zusammen. Der Schmelzpunkt des Eises ist auf derselben mit 32, der Siedepunkt des Wassers mit 212 bezeichnet, so daß also der Zwischenraum zwischen dem Gefrierpunkte und dem Siedepunkte des Wassers hier in 180 Grade getheilt ist. Es sind also dem absoluten Werthe nach

$$180^0 \text{ F.} = 100^0 \text{ C.},$$

mithin

$$1^0 \text{ F.} = {}^5/_9{}^0 \text{ C.}$$

und

$$1^0 \text{ C.} = {}^9/_5{}^0 \text{ F.}$$

Um jedoch die Angaben des einen dieser Thermometer auf die des anderen zu reduciren, hat man noch zu berücksichtigen, daß die Nullpunkte derselben nicht zusammenfallen. Will man Fahrenheit'sche Grade in Celsius'sche verwandeln, so hat man von der gegebenen Gradzahl 32 abzuziehen und den Rest mit $^5/_9$ zu multipliciren. Es sind demnach

$$x^0 \text{ F.} = (x - 32)\ {}^5/_9{}^0 \text{ C.}$$

Will man Celsius'sche Grade in Fahrenheit'sche verwandeln, so multiplicirt man mit $^9/_5$ und addirt zum Product 32. Es sind demnach

$$y^0 \text{ C.} = (y \cdot {}^9/_5 + 32)^0 \text{ F.}$$

Zur leichteren Vergleichung der verschiedenenen Scalen mag folgende Tabelle dienen:

Celsius.	Réaumur.	Fahrenheit.
— 20	— 16	— 4
— 10	— 8	+ 14
0	0	32
+ 10	+ 8	50
20	16	68
30	24	86
40	32	104
50	40	122
60	48	140
70	56	158
80	64	176
90	72	194
100	80	212

174 **Der Ausdehnungscoëfficient.** Wenn ein fester Körper sich ausdehnt, so kann es sich entweder um die Vergrößerung seiner Längendimensionen, seine lineare Ausdehnung oder um die Vergrößerung seines Rauminhaltes, seiner cubischen Ausdehnung handeln. Betrachten wir zunächst die lineare Ausdehnung. — Wenn eine Eisenstange bei 0° eine Länge von 2^{m} hat, so wird die Länge dieses Stabes, wenn er bis zu 100° erwärmt wird, $2{,}0024^{m}$ werden; der Stab ist also um $2{,}4^{mm.}$ länger geworden. Die Längenausdehnung, welche der Stab durch eine Temperaturerhöhung von 100° erlitten hat, verhält sich also zu seiner ursprünglichen Länge bei 0° wie 0,0024 : 2, oder wie 0,0012 : 1, d. h. der Stab hat sich um $\frac{12}{10000}$ seiner ursprünglichen Länge ausgedehnt. Die Zahl, welche angiebt, um den wievielten Theil seiner Länge (bei 0°) sich ein fester Körper ausdehnt, wenn er bis 100° erwärmt wird, nennt man den Ausdehnungscoëfficienten. Man findet diesen Coëfficienten, wenn man die Größe der Ausdehnung, welche ein Körper bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° erleidet, durch seine ursprüngliche Länge bei 0° dividirt. Bezeichnet also l diese ursprüngliche Länge, b die Größe der Ausdehnung, so ist der Ausdehnungscoëfficient

$$r = \frac{b}{l}.$$

Jeder feste Körper hat einen besonderen, ihm eigenthümlichen Ausdehnungscoëfficienten.

Wie die Erfahrung lehrt, dehnen sich fast alle festen Körper, wenigstens

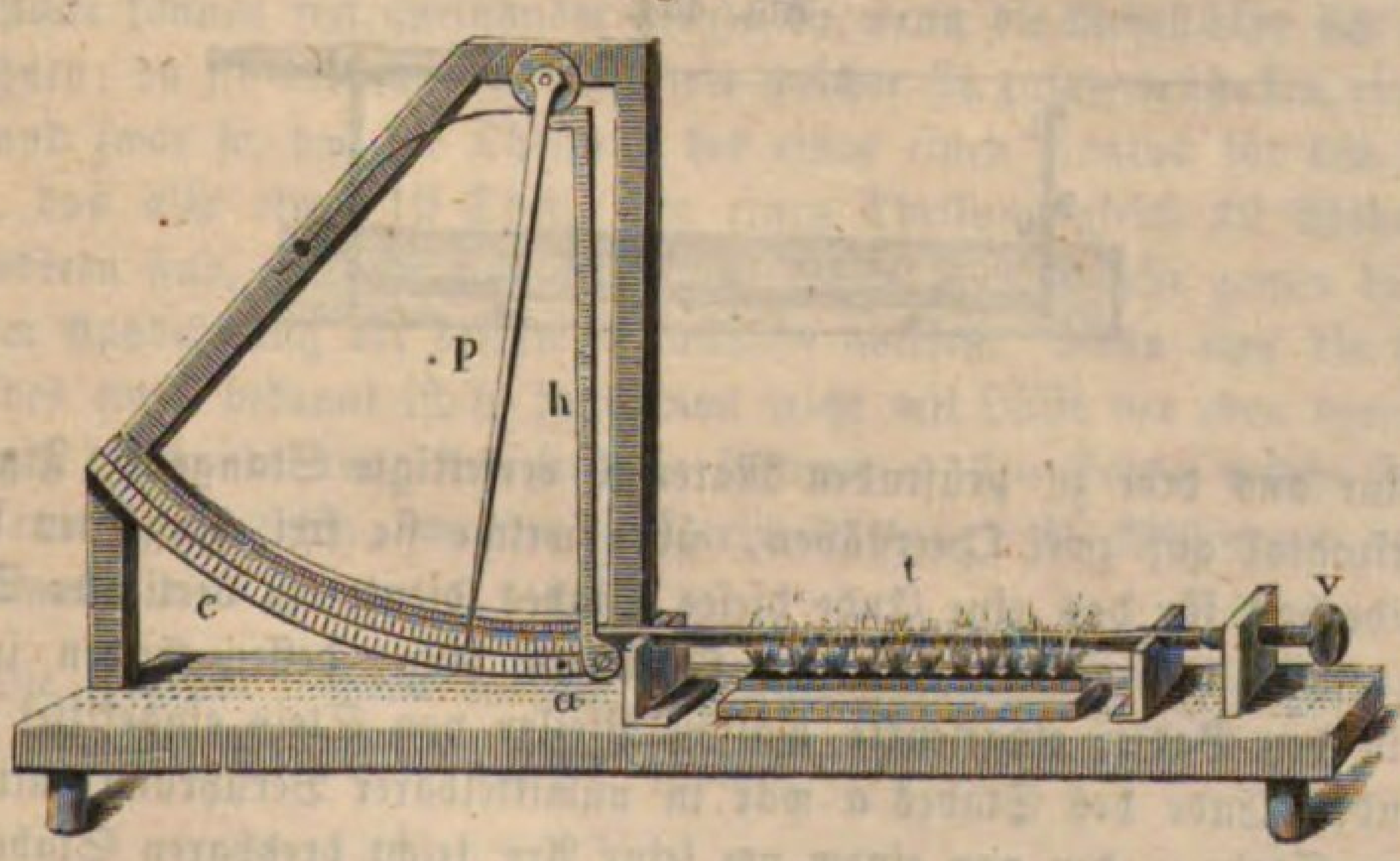
innerhalb der Grenzen von 0^0 bis 100^0, regelmäßig aus, d. h. ihre Ausdehnung ist der Zunahme der Temperatur proportional. Wir haben z. B. gesehen, daß sich eine Eisenstange, welche bei 0^0 zwei Meter lang ist, um $2,4^{mm}$ ausdehnt, wenn man sie bis auf 100^0 erwärmt; wenn man sie aber nur auf 50^0 erwärmt, so dehnt sie sich auch nur um die Hälfte, also um $1,2^{mm}$ aus. Bei einer Temperaturerhöhung von 10^0, von 1^0 dehnt sie sich demnach auch nur um $0,24^{mm}$, um $0,024^{mm}$ aus. Wenn allgemein b die Ausdehnung eines Körpers für eine Temperaturerhöhung von 0^0 bis 100^0 ist, so ist $\frac{b}{100}$ die Ausdehnung, welche einer Temperaturerhöhung von 0^0 bis 1^0 entspricht, und wenn r der Ausdehnungscoëfficient für eine Temperaturerhöhung von 100^0 C. ist, so ist der Ausdehnungscoëfficient für eine Temperaturerhöhung von 1^0 gleich $\frac{r}{100}$. Bezeichnen wir mit l die Länge eines Körpers bei 0^0, so ist seine Länge bei 1^0 gleich $l + \frac{r}{100}\,l$ oder $l\,(1 + \frac{r}{100})$. Bei einer Temperatur von t^0 aber ist seine Länge

$$l' = l\,(1 + \frac{r}{100}t).$$

Wenn drei der vier Größen l, l', r und t gegeben sind, so kann man die vierte berechnen.

Messung der linearen Ausdehnung. Weil die Ausdehnung 175
fester Körper durch die Wärme sehr gering ist, so muß man auf Mittel sinnen, durch welche sie dem Auge vergrößert wird. Dies geschieht z. B. beim Hebelpyrometer, Fig. 452. Die Stange t, deren Ausdehnung man beobachten

Fig. 452.



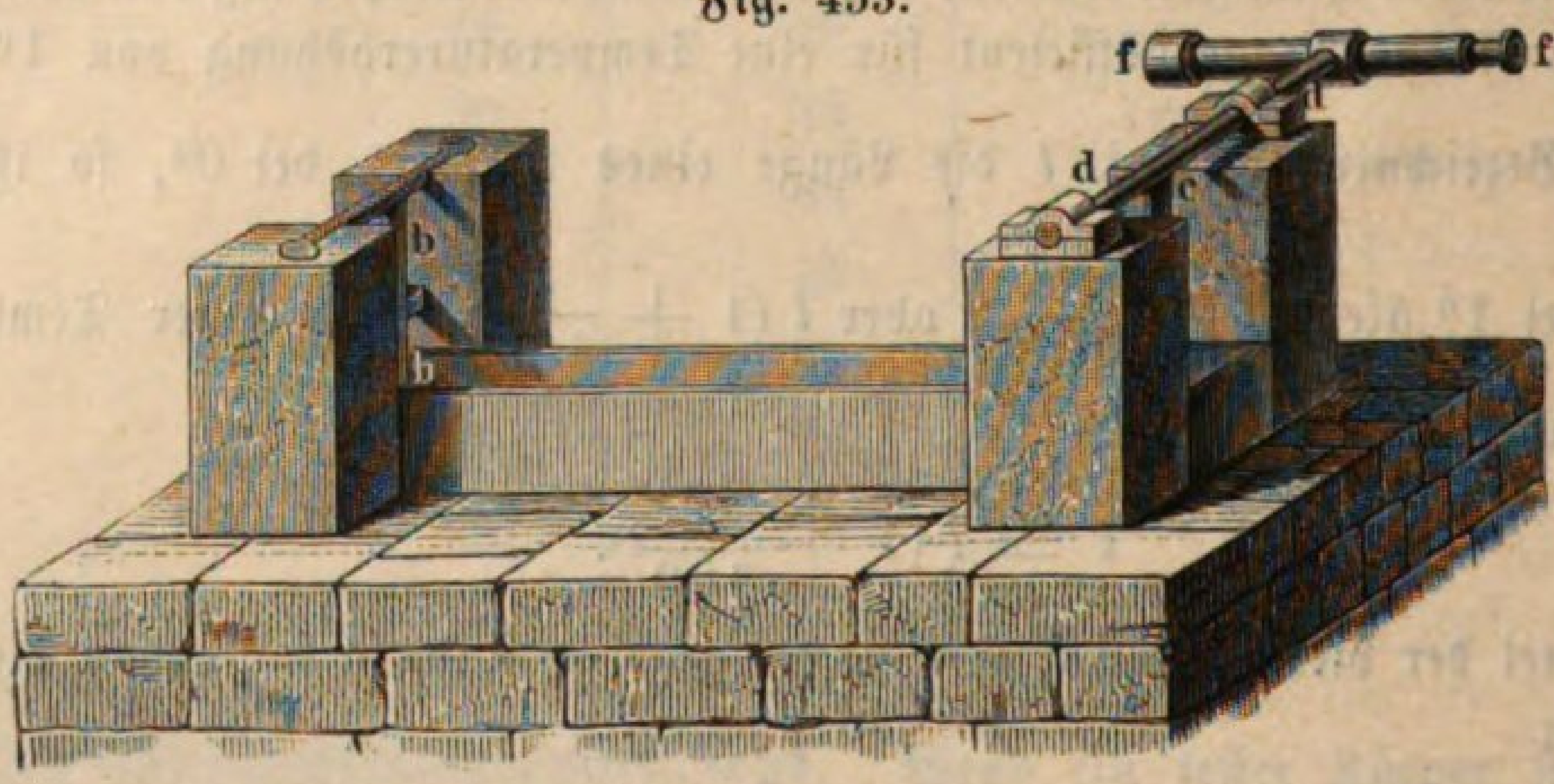
will, steht mit ihrem einen Ende gegen die feste Schraube v an; das andere Ende des Stabes steht aber an einem Hebel h und zwar nahe an seinem

Drehpunkte an, so daß das obere Ende dieses Hebels *h* schon einen ziemlich bedeutenden Weg zurücklegt, wenn sich die Stange *t* auch nur wenig ausdehnt. Die Bewegung des oberen Endes von *h* wird aber in gleicher Weise noch einmal durch den Hebel *p* vergrößert, dessen freies Ende sich an einem Gradbogen *ca* hin bewegt.

Wenn sich beim Erkalten die Stange *t* wieder zusammenzieht, so werden die Hebel durch eine schwache Feder wieder zurückgedrückt.

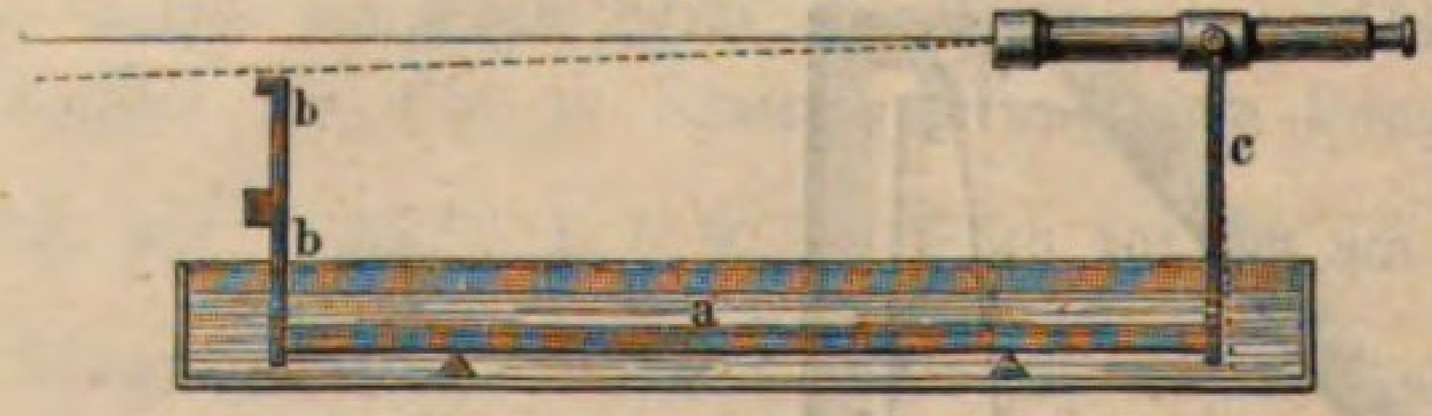
Ein Apparat der oben besprochenen Art ist mehr dazu geeignet, die Ausdehnung fester Körper sichtbar zu machen, als dieselbe genau zu messen. Zu diesem Zwecke haben Lavoisier und Laplace den Fig. 453 und Fig. 454

Fig. 453.



dargestellten Apparat construirt, welcher auf demselben Principe beruhend, so eingerichtet ist, daß die bei der Form des Apparates, Fig. 452, unvermeidlichen Fehlerquellen möglichst beseitigt sind.

Fig. 454.



Eine aus dem zu prüfenden Material verfertigte Stange *a*, Fig. 454, lag horizontal auf zwei Querstäben, über welche sie frei hingleiten konnte. Als Widerhalt für das eine Ende dieses Stabes diente ein verticaler Stab *b*, der an einem horizontalen eisernen Querstabe hing, dessen Enden in zwei große in den Boden eingesenkte massive Pfeiler von Stein eingekittet waren. Das andere Ende des Stabes *a* war in unmittelbarer Berührung mit einem ähnlichen Stabe *c*, der von einem um seine Axe leicht drehbaren Stabe *d* getragen wurde. An der Verlängerung dieser Axe *d* war ein auf eine weit entfernte Scala gerichtetes Fernrohr *f* befestigt. Hier ist der Stab *c* der kürzere, die nach der Scala gerichtete Visirlinie aber der längere Hebelarm. Wenn

durch die Ausdehnung der Stange *a* das untere Ende der Stange *c* auch nur unbedeutend verrückt wird, so wird dadurch die Visirlinie des Fernrohrs gedreht, und man kann die kleinste Drehung auf der entfernten Scala ablesen. Eine Verrückung der Axe *d* und der festen Widerlage ist hier ganz unmöglich.

Zwischen den vier Pfeilern, Fig. 453, befindet sich ein Kasten, der mit Wasser oder mit Oel gefüllt wird, welches gehörig erhitzt werden kann, und in welches der zu untersuchende Stab eingetaucht ist.

Dulong und Petit haben wieder ein anderes Verfahren angewendet, die Ausdehnung fester Körper zu bestimmen, welches auf der Differenz zwischen der scheinbaren und absoluten Ausdehnung des Quecksilbers, wovon später noch die Rede sein wird, beruht. Nachdem auf diese Weise die Ausdehnung des Glases und des Eisens bestimmt war, bedienten sie sich, um die Ausdehnung anderer festen Körper zu finden, des von Borda bei Gelegenheit seiner Gradmessung ersonnenen Pyrometers. Dieses Pyrometer ist Fig. 455 dargestellt.

Fig. 455.



Es besteht aus zwei Metallstäben von verschiedenem Metalle, welche ihrer Länge nach auf einander gelegt und an dem einen Ende fest verbunden sind. Am anderen Ende trägt jeder Metallstab ein Messingstück, welches zuerst vertical aufsteigt und dann horizontal umgebogen ist. Die horizontalen Arme dieser Ansatzstücke können frei aneinander hergleiten, wenn die Metallstäbe sich ungleich ausdehnen; da sie aber an der Linie, mit welcher sie zusammenstoßen, eingetheilt sind, und zwar so, daß die Theilung des einen einen Nonius für den anderen bildet, daß also etwa 19 Theile der einen Theilung gleich 20 Abtheilungen der anderen sind, so kann man mit Hülfe dieses Nonius sehr genau die Differenz der Ausdehnung der beiden Metallstäbe ablesen. Wenn nun die Ausdehnung des einen bekannt ist, so kann man leicht mit Hülfe der eben beobachteten Differenz die Ausdehnung des anderen bestimmen. Die Stäbe, welche Dulong und Petit anwendeten, waren 12 Decimeter lang, 25 Millimeter breit und 4 Millimeter dick.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der besten Beobachtungen über die Ausdehnung fester Körper.

Tabelle der linearen Ausdehnung fester Körper.

Namen der Körper	Temperatur-Intervall	Ausdehnung in Decimalbrüchen.	Ausdehnung in gewöhnl. Brüchen.
Nach Lavoisier und Laplace.			
Englisches Flintglas	0 bis 100°	0,00081166	1/1248
Platin (nach Borda)	» » »	0,00085655	1/1167
Französisches bleihaltiges Glas	» » »	0,00087199	1/1147
Bleifreie Glasröhren	» » »	0,00087572	1/1142
» »	» » »	0,00089694	1/1115
» »	» » »	0,00089760	1/1114
» »	» » »	0,00091750	1/1090
Glas von St. Gobain	» » »	0,00089089	1/1122
Stahl (nicht gehärtet)	» » »	0,00107880	1/927
» » »	» » »	0,00107915	1/927
» » »	» » »	0,00107960	1/926
Stahl (gehärtet)	» » »	0,00123956	1/807
Weiches Eisen, geschmiedet	» » »	0,00122045	1/819
Stabeisen	» » »	0,00123504	1/812
Gold	» » »	0,00146606	1/682
»	» » »	0,00151361	1/661
»	» » »	0,00156155	1/645
Kupfer	» » »	0,00171220	1/584
»	» » »	0,00171733	1/582
»	» » »	0,00172240	1/581
Messing	» » »	0,00186760	1/535
»	» » »	0,00187821	1/533
»	» » »	0,00188970	1/529
Silber	» » »	0,00190868	1/524
»	» » »	0,00190974	1/524
Zinn	» » »	0,00193765	1/516
»	» » »	0,00217298	1/462
Blei	» » »	0,00284836	1/351
Nach Smeaton:			
Weißes Glas (Barometerröhren)	0 bis 100°	0,00083333	1/1175
Antimon	» » »	0,0010833	1/923
Stahl	» » »	0,00115000	1/870
Gehärteter Stahl	» » »	0,00122500	1/816
Eisen	» » »	0,00125833	1/795
Wismuth	» » »	0,00139167	1/719
Kupfer, gehämmert	» » »	0,00170000	1/588
Kupfer, 8 Theile mit 1 Theil Zinn	» » »	0,00181667	1/550
Messing, gegossen	» » »	0,00187500	1/533
Messingdraht	» » »	0,00193333	1/517
Spiegelmetall zu Teleskopen	» » »	0,00193333	1/517
Loth (2 Thle. Kupfer, 1 Thl. Zink)	» » »	0,00205833	1/486
Feines Zinn	» » »	0,00228333	1/438
Weiß-Loth (1 Thl. Zinn, 2 Thl. Blei)	» » »	0,00250533	1/399
Blei	» » »	0,00286667	1/349
Zink	» » »	0,00294167	1/340

Namen der Körper	Temperatur-Intervall	Ausdehnung in Decimalbrüchen.	Ausdehnung in gewöhnl. Brüchen.
Nach Roy:			
Glas in Röhren	0 bis 100°	0,00077550	1/128
Glas, solider Stab	» » »	0,00080833	1/123
Eisen, gegossenes Prisma	» » »	0,0011100	1/901
Stahl	» » »	0,00114450	1/874
Messing von Hamburg	» » »	0,00185550	1/539
Messing, englisches	» » »	0,00189296	1/528
Nach Troughton:			
Platin	0 bis 100°	0,00099180	1/1008
Stahl	» » »	0,00118990	1/840
Eisen (im Drahtzug gezogen)	» » »	0,00144010	1/694
Kupfer	» » »	0,00191880	1/521
Silber	» » »	0,00208260	1/480
Nach Wollaston:			
Palladium	0 bis 100°	0,00100000	1/1000
Nach Dulong und Petit:			
Platin	0 bis 100°	0,00088420	1/1131
	0 bis 300°	0,00275482	1/363
Glas	0 bis 100°	0,00086133	1/1161
	0 bis 200°	0,00184502	1/454
	0 bis 300°	0,00303252	1/329
Eisen	0 bis 100°	0,00118210	1/846
	0 bis 300°	0,00440528	1/227
Kupfer	0 bis 100°	0,00171820	1/582
	0 bis 300°	0,00564972	1/177

Von 0 bis 100° ist im Allgemeinen die Ausdehnung der festen Körper regelmäßig, in höheren Temperaturen aber nimmt sie zu.

Die cubische Ausdehnung ist die Vergrößerung, welche das Volumen eines Körpers durch die Temperaturerhöhung erleidet. Auch hier wird das Volumen des Körpers bei 0° zum Ausgangspunkte genommen, und unter dem Ausdehnungscoëfficienten versteht man hier die Zahl, welche angiebt, um den wievielsten Theil seines ursprünglichen Volumens bei 0° sich ein Körper ausdehnt, wenn man ihn bis auf 100° erwärmt. Wenn man sagt, der Ausdehnungscoëfficient des Quecksilbers sei 0,018, so heißt das, das Quecksilber 176

dehnt sich bei einer Temperaturerhöhung von 100^0 um $\frac{18}{1000}$ seines Volumens bei 0^0 aus. Kennt man den Ausdehnungscoëfficienten und das Volumen eines Körpers bei 0^0, so kann man sein Volumen für eine Temperatur von t^0 auf dieselbe Weise berechnen, wie dies bei der Längenausdehnung der festen Körper gezeigt wurde, vorausgesetzt, daß die Ausdehnung des Körpers regelmäßig ist.

Bei tropfbar-flüssigen und gasförmigen Körpern wird durch den Versuch unmittelbar die körperliche Ausdehnung bestimmt, während bei festen Körpern die körperliche Ausdehnung meist aus der beobachteten linearen berechnet werden muß.

Der Ausdehnungscoëfficient für die körperliche Ausdehnung fester Körper ist dreimal so groß als der Ausdehnungscoëfficient für die lineare Ausdehnung.

Man kann sich davon durch folgendes Raisonnement überzeugen. Es sei l die Seite eines Würfels bei 0^0, so ist l^3 das Volumen desselben, welches wir mit v bezeichnen wollen; wenn nun der Würfel bis auf 100^0 erwärmt wird, so ist jede Seite $l\,(1 + r)$, mithin ist jetzt der Inhalt des Würfels:

$$v' = l^3\,(1 + r)^3 = l^3\,(1 + 3r + 3r^2 + r^3).$$

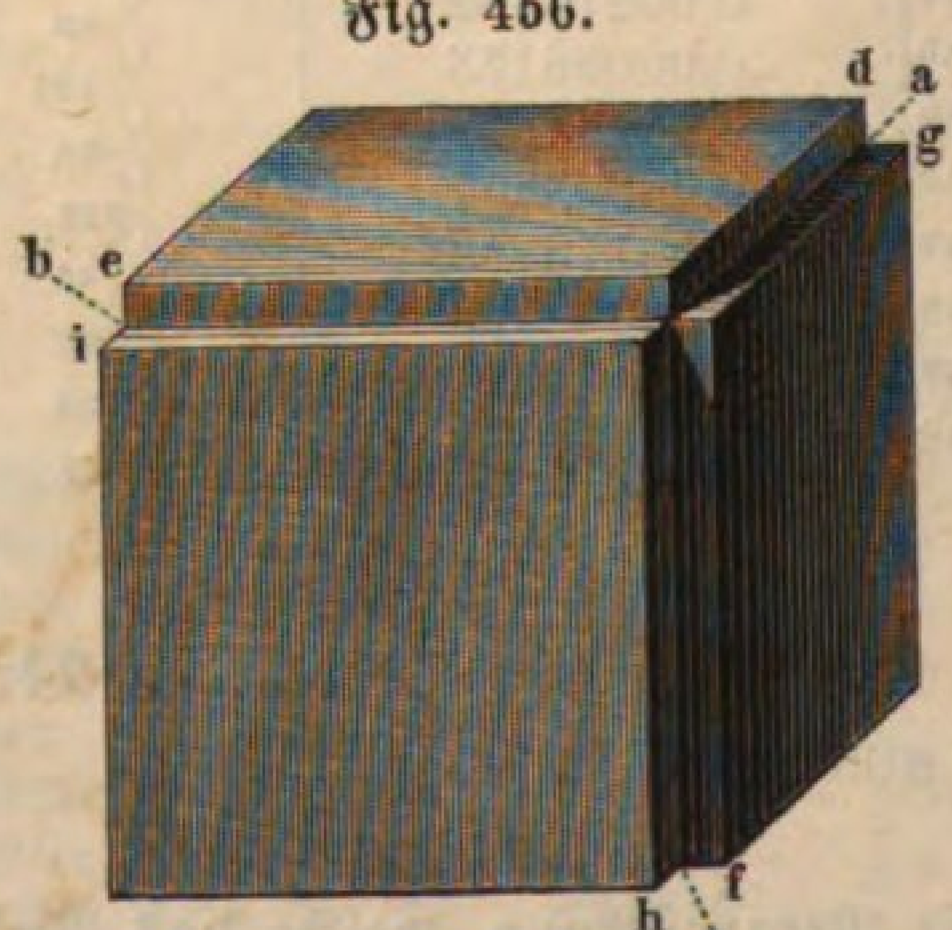
Da aber r eine sehr kleine Größe ist, so kann man die höheren Potenzen derselben vernachlässigen, und der Werth von v' reducirt sich demnach auf

$$v' = l^3\,(1 + 3r) = v\,(1 + 3r).$$

Das Volumen v ist also um $3rv$ gewachsen; der Ausdehnungscoëfficient für das Volumen ist also $3r$.

Wir wollen versuchen, dies noch auf geometrischem Wege anschaulich zu machen.

Fig. 456.



Es sei *abc*, Fig. 456, ein aus irgend einem festen Körper gebildeter Würfel bei 0^0. Wenn nun dieser Würfel bei einer Temperaturerhöhung von 100^0 sich nur nach oben ausdehnte, so würde sein Volumen um die quadratische Platte *adeb* zunehmen, deren Inhalt vr ist, wenn v das Volumen des ursprünglichen Würfels und r den Längen-Ausdehnungscoëfficienten bezeichnet. Wenn sich der Würfel nur nach der rechten Seite hin ausdehnte, so würde er hier um eine eben so große Platte *cfga* wachsen, und eine dritte Platte *bihc* endlich, deren Inhalt gleichfalls rv ist, das Resultat der Ausdehnung des Körpers nach vorn sein. Der cubische Inhalt dieser drei Platten zusammen ist $3rv$. Zur Vollendung des durch die Wärme vergrößerten Würfels müßte freilich noch der Inhalt der Ecken hinzuaddirt werden, welche da einzupassen sind, wo je zwei der eben betrachteten Platten mit einer Kante zusammentreffen;

allein die Größe derselben ist so unbedeutend, daß sie vernachlässigt werden kann, da ja die Größe der linearen Ausdehnung da sehr klein ist im Vergleich zu der Länge der Seiten des ursprünglichen Würfels, und man kann also $3rv$ ohne merklichen Fehler für die ganze Zunahme des Volumens ansehen.

Für eine Glassorte, deren Ausdehnungscoëfficient für lineare Ausdehnung 0,00083 beträgt, würde demnach die körperliche Ausdehnung, welche einer Temperaturerhöhung von 0 bis 100° entspricht, 0,00249 des ursprünglichen Volumens betragen und dies ist dann auch die Vergrößerung des Rauminhaltes, welche ein aus dieser Glassorte verfertigtes Gefäß bei einer Temperaturerhöhung von 100° erfährt.

Viele feste Körper kommen weder in hinlänglichen Massen noch in geeigneter Form vor, um aus ihnen Stäbe zu bilden, wie sie zur Ermittelung der linearen Ausdehnung nöthig sind. In solchen Fällen kann man unmittelbar die cubische (räumliche) Ausdehnung durch den Versuch bestimmen. Am einfachsten geschieht dies, indem man nach der auf S. 12 und 13 des ersten Bandes auseinandergesetzten Methode das specifische Gewicht der fraglichen Körper einmal bei niedriger Temperatur (10 bis 20°) und dann bei höherer Temperatur (40 bis 50°) bestimmt, wobei natürlich die Ausdehnung des Glasgefäßes sowohl, wie die Ausdehnung der Flüssigkeit gehörig in Rechnung gebracht werden muß. Nach dieser Methode fand Kopp die räumliche Ausdehnung für 1° C.

für Kupfer . . .	0,000051
» Blei	0,000089
» Zinn . . .	0,000069
» Eisen . . .	0,000037
» Zink . . .	0,000089
» Schwefel . . .	0,000183
» Flußspath . .	0,000062
» Kalkspath . .	0,000018
» Arragonit . .	0,000065
» Schwerspath .	0,000058
» Quarz . . .	0,000042
» Weiches Natronglas	0,000026
» Hartes Kaliglas.	0,000021.

Anwendung der Ausdehnung fester Körper. Die Kraft, mit welcher sich die Körper ausdehnen, ist gleich dem Widerstande, den sie einer Compression entgegensetzen. Es sei z. B. ein Gewicht von 1000 Kilogrammen nöthig, um eine verticale Eisenstange gerade um so viel zusammenzudrücken, als sie sich bei einer Temperaturerniedrigung von 1° zusammenzieht; so ist klar, daß, wenn man die Stange mit einem Gewicht von 1000^{kg} belastet, sie aber um 1° erwärmt, sich alsdann die durch die Wärme veranlaßte Ausdehnung und die durch die Last bewirkte Compression compensiren, daß also ihre Länge unverändert bleibt. Man kann daraus schließen, mit welcher ungeheuren 17

Kraft sich die Körper ausdehnen und zusammenziehen. Die Flüssigkeiten, welche etwas compressibel sind, sich aber stark ausdehnen, können die größten Wirkungen dieser Art hervorbringen. Wegen der Ausdehnung des Eisens darf man bei größeren Bauten, wo eine größere Zahl von Eisenstäben aneinandergereiht werden muß, z. B. bei Eisenbahnen, nicht ein Stück genau an das andere anstoßen lassen, sondern man muß sie so an einander schieben, daß noch ein kleiner Zwischenraum für die Ausdehnung bleibt. Bei Röhrenleitungen ist die Sache schwieriger; man erreicht hier den Zweck dadurch, daß man die Verbindung zweier an einander stoßenden Röhrenstücke durch Blei vermittelt.

Die Kraft, mit welcher sich die Körper beim Erkalten zusammenziehen, ist gleich dem Widerstande, den sie einer Kraft entgegensetzen, welche sie auseinander zieht. Wenn eine Kraft von 1000^{kg} nöthig ist, um eine Eisenstange so viel zu verlängern, wie dies auch durch eine Temperaturerhöhung von 1^0 geschieht, so ist klar, daß, wenn man an den Eisenstab eine Last von 1000^{kg} hängt und die Temperatur um 1^0 erniedrigt, alsdann die durch Erkaltung bewirkte Contraction und die durch den Zug bewirkte Verlängerung sich compensiren. Wenn z. B. eine Eisenstange zwischen zwei festen Widerlagen steht, welche sie durch die Kraft ihrer Ausdehnung nicht fortrücken kann, so muß sich die Eisenstange biegen; und wenn die Enden einer Eisenstange so befestigt sind, daß sie beim Erkalten durch die Kraft, mit welcher die Zusammenziehung erfolgt, nicht genähert werden können, so muß die Stange reißen. Daher kommt es, daß beim Gießen häufig Stücke zerbrechen, wenn man bei den Formen nicht Rücksicht darauf genommen hat, daß sich das Metall beim Erkalten gehörig zusammenziehen kann.

Da alle Körper sich durch die Wärme ausdehnen, so wird ein aus einer einfachen Stange gebildetes Pendel bei höherer Temperatur länger sein als bei niedriger, es wird im Sommer also langsamer schwingen als im Winter, und wenn ein solches Pendel zur Regulirung einer Uhr angewendet wird, so ist der Gang der Uhr von der Temperatur abhängig. Bei den Compensationspendeln, welche ihres Aussehens wegen auch Rostpendel genannt werden, ist dieser nachtheilige Einfluß der Ausdehnung vermieden. Fig. 457 stellt ein Compensationspendel dar. Es ist aus fünf Eisenstäben, nämlich den beiden Stäben AB, den beiden Stäben EF und dem Stabe KL, ferner aus vier Messingstäben, nämlich den beiden Stäben CD und den beiden Stäben GH zusammengesetzt. Die beiden Querstäbe, welche die Länge des Rostes in drei Theile theilen, sind nur an den äußeren Eisenstäben befestigt und haben Oeffnungen, durch welche alle übrigen Eisen- und Messingstäbe frei hindurchgehen. Die Gesammtlänge des Pendels ist offenbar gleich

$$AB + EF + KL - (CD + GH)$$

oder es ist

$$l_0 = l_1 - l_2,$$

wenn wir mit l_0 die Gesammtlänge des Pendels, mit l_1 die Länge $AB + EF + KL$ und mit l_2 die Länge $CD + GH$ bezeichnen.

Bei einer Temperaturerhöhung von t Graden wird die Länge des Pendels

Fig. 457.



$$l_t = l_1\,(1 + 0{,}0000126\,t) - l_2\,(1 + 0{,}0000188\,t).$$

Es iſt aber $l_0 = l_t$, wenn

$$0{,}0000126\,l_1 = 0{,}0000188\,l_2,$$

wenn alſo

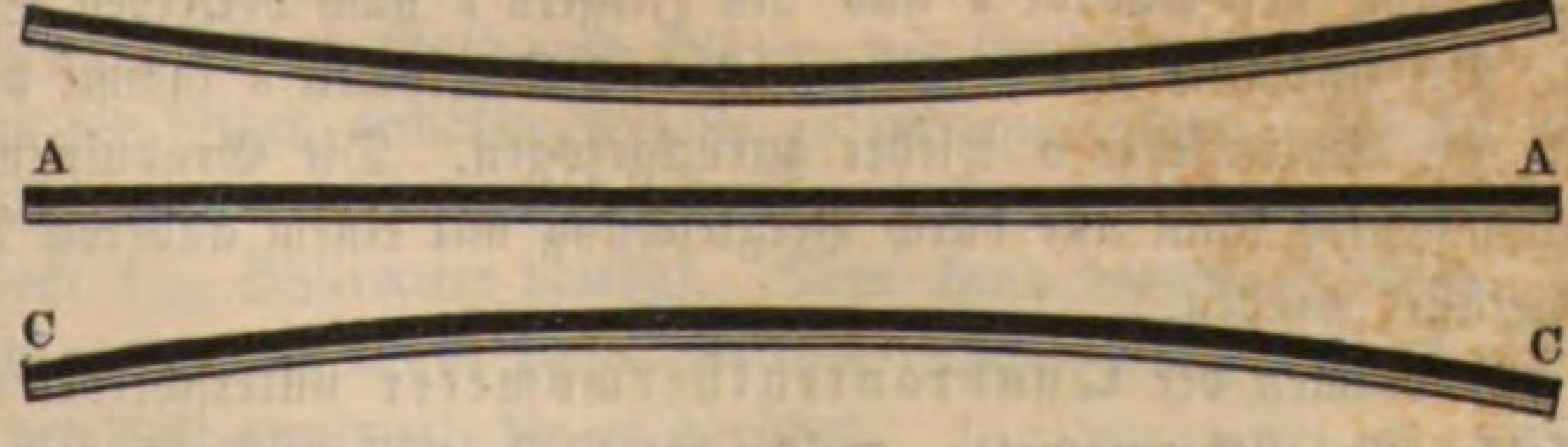
$$l_1 = \frac{188}{126}\,l_2,$$

d. h., wenn ſich die Geſammtlänge der drei Eiſenſtäbe $AB + EF + KL$ zu der der zwei Meſſingſtäbe $CD + GH$ umgekehrt verhält wie der Ausdehnungscoëfficient des Eiſens zu dem des Meſſings.

Wenn man bei einer mittleren Temperatur von ungefähr 15° zwei gleich lange Streifen von Metallen auf einander nietet, welche ungleiche Ausdehnungscoëfficienten haben, wie z. B. Zink und Eiſen, ſo muß ſich ein ſolcher Streifen bei jeder Temperaturveränderung krümmen, wie dies Fig. 458 andeutet; und zwar wird ſich der Streifen ſo krümmen, daß das ſtärker ſich ausdehnende Metall das nach Außen gekehrte iſt, wie bei BB, wenn die Temperatur ſteigt, während es die innere Seite des Bogens bildet, wenn die Temperatur abnimmt.

Solche zuſammengenietete Streifen werden **Compenſationsſtreifen** genannt, weil man ſie zur Compenſation der Unruh in Chronometern benutzt. — Die Schwankungen der Temperatur influiren nämlich die Schwingungsdauer der Unruh in ähnlicher Weiſe, wie die der Pendel. Dieſem Uebelſtande wird durch die Fig. 459 (a. f. S.) dargeſtellte Einrichtung des Balancier's abgeholfen, welcher nicht durch einen geſchloſſenen durch radiale Speichen mit der Axe ver-

Fig. 458.



bundenen Ring gebildet wird, sondern aus zwei metallenen Armen *AA* besteht, deren jeder an seinem Ende einen metallischen Bogen *BC* trägt. Diese Bogen sind durch über einander genietete Streifen ungleich ausdehnbarer Metalle gebildet und zwar ist das Metall, welches sich am stärksten ausdehnt, das äußere. Wenn nun die Temperatur steigt, so verlängern sich die Arme *AA*; gleichzeitig nimmt aber die Krümmung der Bogen *BC* zu, so das die freien Enden *C* derselben und mit ihnen die kleinen Metallmassen *D* der Axe genähert werden.

Man hat solche aus verschiedenen Metallen zusammengesetzte Stäbe und Streifen auch zur Construction von Thermometern benutzt.

Fig. 460.

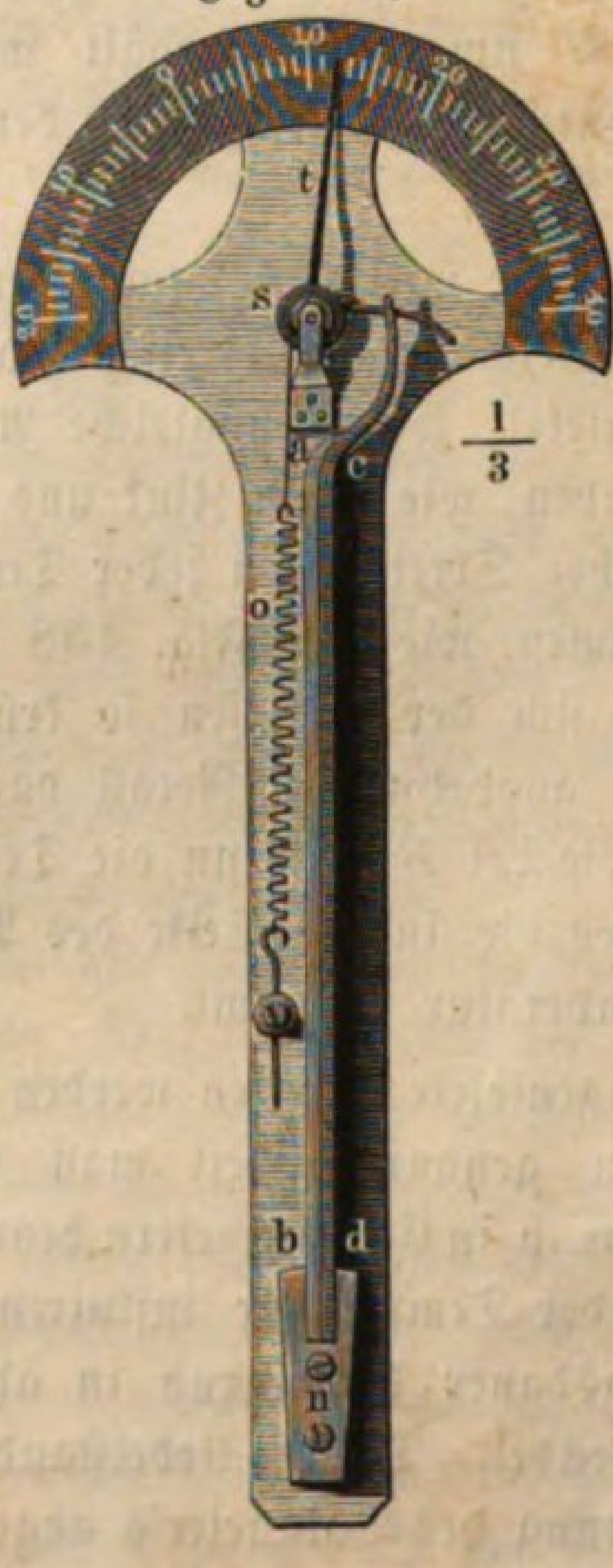
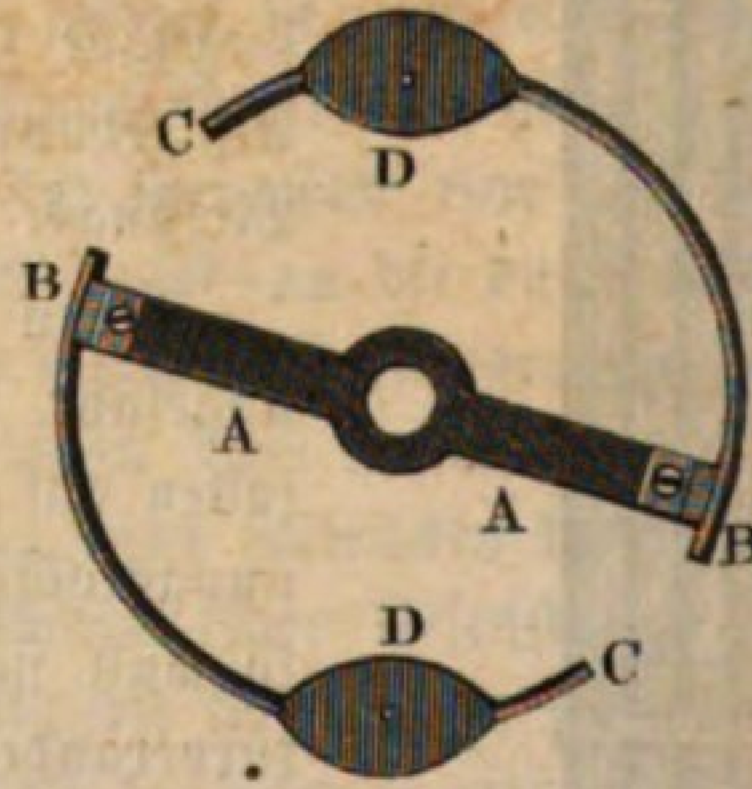


Fig. 459.

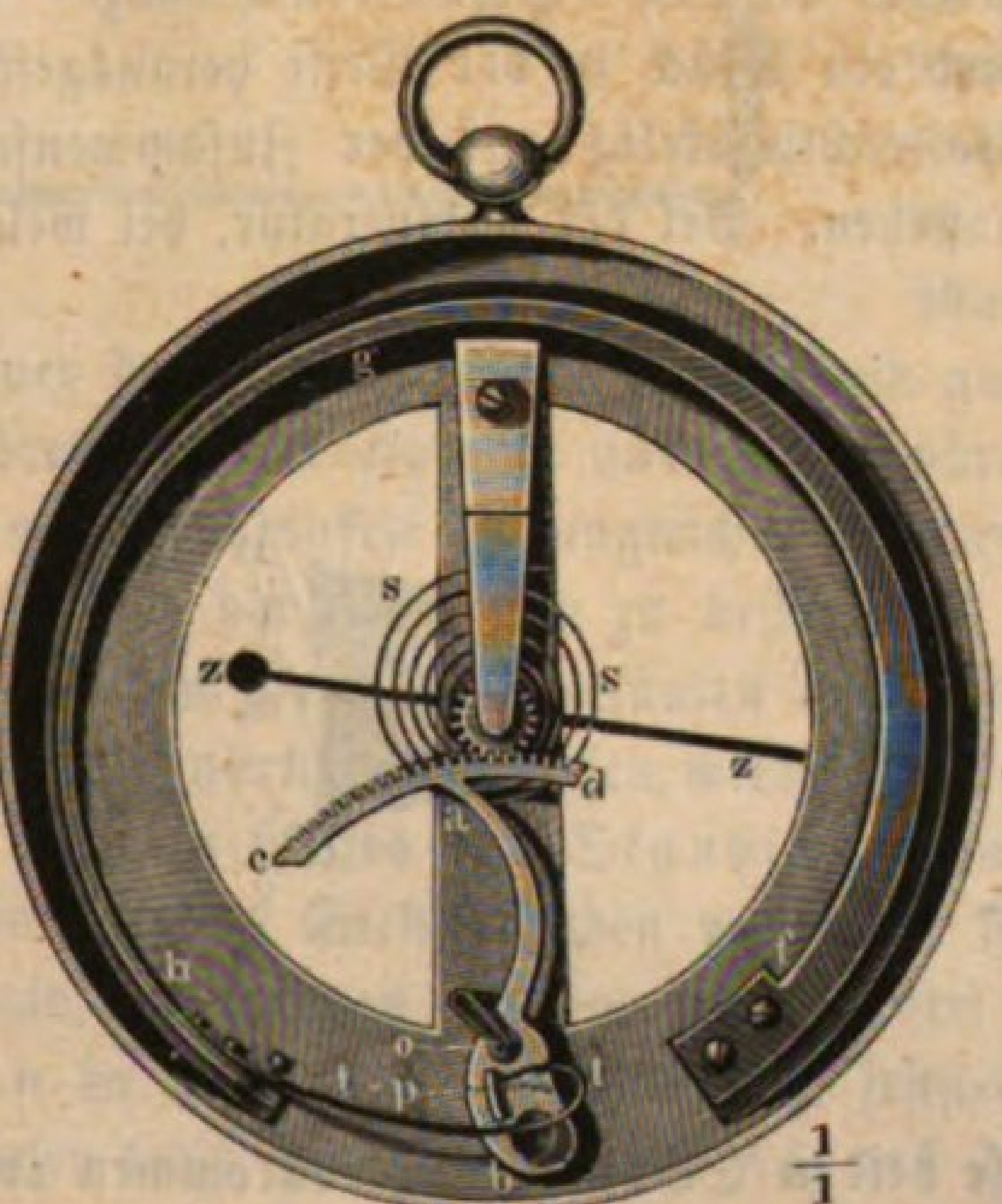


So stellt Fig. 460 ein von Stöhrer verfertigtes Metallthermometer dar. Ein Zinkstreifen *ab* ist auf den Stahlstreifen *cd* aufgenietet und beide sind mit ihrem unteren Ende in das Metallstück *n* fest eingelassen, während im übrigen der ganze Streifen *abcd* frei ist und ungefähr $^1/_2$ Linie von der Messingplatte absteht, auf welcher *n* aufgeschraubt ist. Bei steigender Temperatur krümmt sich der zusammengesetzte Metallstreifen in der Art, daß sein oberes Ende nach der rechten Seite hingeht, was mittelst eines feinen Uhrkettchens auch die Drehung der Scheibe *s* und des Zeigers *t* nach derselben Seite zur Folge hat. Bei sinkender Temperatur wird das Scheibchen *s* sammt dem Zeiger *t* durch die Spiralfeder *o* wieder zurückgezogen. Die Graduirung eines solchen Instrumentes kann nur durch Vergleichung mit einem anderen Thermometer ausgeführt werden.

Mit dem Namen der Quadrantenthermometer unterscheidet man gewöhnlich solche Metallthermometer, welche die Gestalt einer Taschenuhr haben, wie ein solches Fig. 461 dargestellt ist. Der Compensationsstreifen *fgh*, aus Kupfer und Stahl (Kupfer innen) zusammengesetzt, ist bei *f* befestigt. Bei wachsender Tem-

peratur wird der Compensationsstreifen sich etwas mehr strecken, das freie Ende *h* wird sich etwas nach Außen bewegen und dadurch das untere Ende des um *o* drehbaren Hebels *aob* nach der Linken gezogen, indem ein bei *h* befestigter stählerner Haken *tt* bei *p* gegen eine Hervorragung des Hebels andrückt. Durch diese Drehung des Hebels wird der gezahnte Bogen *cd* nach der Rechten gedreht, was dann, mittelst eines kleinen gezahnten Rades, die Drehung des Zeigers *zz* in der Richtung von *f* nach *g* hin zur Folge hat. Die Theilung, vor welcher sich der Zeiger bewegt, ist in unserer Figur, als auf der anderen Seite des Instrumentes liegend, nicht sichtbar.

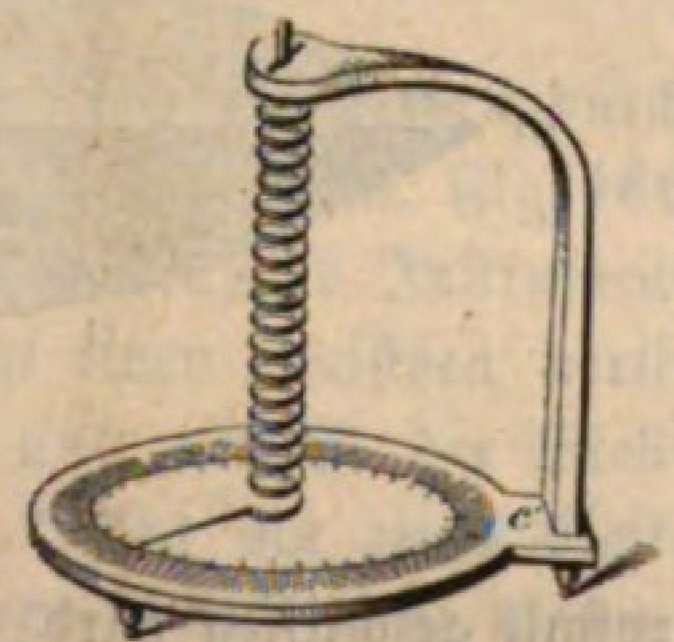
Fig. 461.



Bei abnehmender Temperatur bewirkt die Spiralfeder *ss* eine Drehung in entgegengesetzter Richtung.

Breguet's Thermometer ist unter allen Metallthermometern das

Fig. 462.



empfindlichste. Es besteht aus einem 1 bis 2 Millimeter breiten Bande von Metall, welches spiralförmig aufgewunden ist, wie Fig. 462 zeigt. Oben ist die Spirale an einem Stücke Messing befestigt, von dem sie frei herunterhängt. An ihrem unteren Ende trägt sie eine horizontale, sehr leichte Nadel, deren Spitze einen getheilten Kreis durchläuft. Die Kreisscheibe ist in der Mitte durchbrochen und ruht auf drei Füßen, damit die Luft leicht zwischen den Windungen der Spiralen circuliren kann. Der ganze Apparat ist mit einer Glasglocke bedeckt, damit er vor äußeren Störungen gesichert ist.

Das Spiralband ist aus drei über einander gelegten Metallschichten zusammengesetzt, Silber, Gold und Platin; der Goldstreifen ist in der Mitte und dient, um die beiden anderen Metalle zusammenzulöthen. Da ein solches System immer noch eine bedeutende Dicke hat, so wird es ausgewalzt, bis seine ganze Dicke $^1/_{60}$ Millimeter beträgt. Man kann daraus schließen, wie außerordentlich gering die Masse dieses Bandes ist, und wie schnell es also die Temperatur der Luft annimmt, die es berührt.

Durch die ungleiche Ausdehnung von Silber und Platin wird die Spirale auf- und zugewunden; wenn also die Temperatur steigt oder sinkt, so wird

sich die Nadel bewegen. Auch dieses Instrument wird nach einem Quecksilberthermometer graduirt.

178 **Ungleiche Ausdehnung der Krystalle nach verschiedenen Richtungen.** Mitscherlich hat nachgewiesen, daß Krystalle, welche nicht dem regulären System angehören, nach verschiedenen Richtungen hin eine ungleiche Ausdehnung durch die Wärme erleiden.

Es läßt sich dies am leichtesten am krystallisirten Gyps und zwar an der Varietät nachweisen, von welcher schon in der Lehre vom Lichte die Rede war. Man findet häufig Zwillingskrystalle dieses Minerals, welche ungefähr die Gestalt Fig. 463 haben und unter dem Namen »Schwalbenschwänze« bekannt sind. Aus einer solchen Platte wird ein Stück in der Weise herausgeschnitten, daß die Schnittflächen *ab* und *de* rechtwinkelig auf der Zusammensetzungsfläche *mm'* der beiden Individuen stehen. Bei der Temperatur, bei welcher der

Fig. 463.

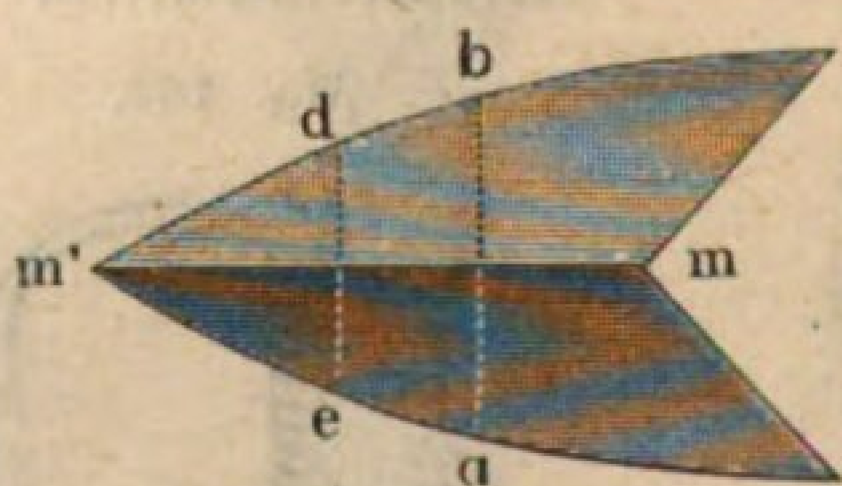
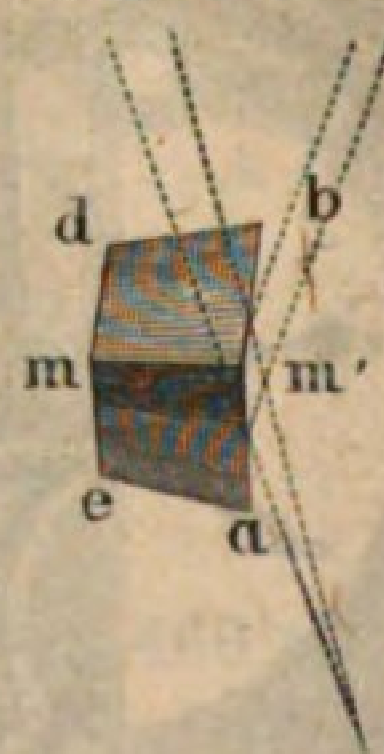


Fig. 464.



Krystall geschliffen wird, sind diese beiden Schnittflächen vollkommen eben; sobald man aber den Krystall auf 60 bis 80° erwärmt, erscheinen die beiden Flächen gebrochen, wie dies in Fig. 464 angedeutet ist; denn man erblickt, nach *bm'a* hinsehend, zwei Spiegelbilder eines entfernten Gegenstandes, woraus hervorgeht, daß der Krystall durch ungleichförmige Ausdehnung seine Gestalt verändert hat.

Aehnliche Erscheinungen lassen sich auch hervorbringen, wenn man zwei Krystalle so zusammenkittet, daß die Richtung der Axen in beiden verschieden ist, und dann in ähnlicher Weise eine Fläche anschleift, wie beim Gypszwilling; diese Fläche wird alsdann beim Erwärmen gebrochen erscheinen.

179 **Absolute Ausdehnung der Flüssigkeiten.** Bei den Flüssigkeiten haben wir eine absolute und eine scheinbare Ausdehnung zu unterscheiden. Die scheinbare Ausdehnung ist die, welche man an den in Gefäßen eingeschlossenen Flüssigkeiten wirklich beobachtet; die absolute Ausdehnung dagegen ist diejenige, welche man beobachten würde, wenn sich das Gefäß selbst durchaus nicht ausdehnte.

Dulong und Petit haben die absolute Ausdehnung des Quecksilbers direct mittelst eines Apparates bestimmt, welcher auf dem hydrostati-

schen Principe beruht, daß die Höhe flüssiger Säulen, welche sich das Gleichgewicht halten, im umgekehrten Verhältnisse der Dichtigkeit steht.

In Fig. 465 stellen *at* und *a′t′* zwei verticale Röhren dar, welche durch die horizontale Röhre *tt′* verbunden sind; sie werden bis zur Höhe *nn′* mit Quecksilber gefüllt. Die Röhren sind oben so weit, daß die Capillarität keinen nachtheiligen Einfluß ausüben kann. Dieser Apparat ist auf einer eisernen Platte befestigt, die selbst wieder auf einem starken Brette von Holz ruht. Die Glasröhren sind durch eiserne Stangen in ihrer verticalen Stellung festgehalten und an der einen auf irgend eine Weise eine Marke angebracht.

Fig. 465.



Einer der Schenkel wird fortwährend auf der Temperatur von 0° erhalten, während der andere nach und nach erwärmt wird, und Alles kommt darauf an, mit Genauigkeit die ungleichen Höhen der beiden Quecksilbersäulen und die Temperatur der erwärmten zu bestimmen.

Die Höhen der Quecksilbersäulen über der Axe der Röhre *tt′* werden durch ein besonderes Instrument gemessen, welches man Kathetometer nennt. Fig. 466 (a. f. S.) stellt ein solches von Staudinger in Gießen construirtes Instrument dar. Ein mit drei Stellschrauben versehener Fuß trägt einen massiven verticalen Stab, um welchen sich eine Hülse *a* frei drehen und mittelst der Stellschraube *n* in einer beliebigen Stellung feststellen läßt. Auf der einen Seite ist an dieser Hülse der eiserne Stab *bb*, auf der anderen aber der als Gegengewicht dienende Messingcylinder *cc* befestigt. Auf der vorderen Fläche des Stabes *bb*, welche Fig. 466 zur Linie verkürzt erscheint, ist eine Theilung angebracht, wie man dies Fig. 467 sieht. An dem Stabe *bb* läßt sich nun der bei *f*, Fig. 467, mit einem Nonius versehenen Schieber *d* auf- und abbewegen, und mittelst der Stellschraube *r* in einer beliebigen Höhe festschrauben. Die Mikrometerschraube *s* dient zur feineren Einstellung.

Der Schieber *d* trägt nun ein horizontales Fernrohr *t*, welches natürlich mit einem Fadenkreuz versehen sein muß. Hat man zuerst das Fernrohr genau so hoch gestellt, daß der Kreuzungspunkt des Fadenkreuzes auf irgend einen Punkt *A* einsteht, schiebt man dann, nachdem man in der ersten Stellung den Nonius abgelesen hat, das Fernrohr so weit herauf oder herab, daß das Fadenkreuz auf irgend einen zweiten Punkt *B* einsteht und liest man abermals den Nonius ab, so giebt der Unterschied der beiden Ablesungen den Höhenunterschied der beiden Punkte *A* und *B* an.

Zu den fraglichen Versuchen wird das Kathetometer in einiger Entfernung so aufgestellt, daß man bald die eine, bald die andere der beiden Röhren *at* und *a′t′*, Fig. 465, ins Gesichtsfeld des Fernrohrs bekommt, wenn man die Hülse *a* etwas um ihre verticale Axe dreht. Man bestimmt nun ein- für alle-

mal die Höhe des Visirpunktes *r* über der Axe der horizontalen Röhre *tt'*. Ist dies geschehen, so bestimmt man, wie viel man, vom Visirpunkte *r* ausgehend,

Fig. 466.

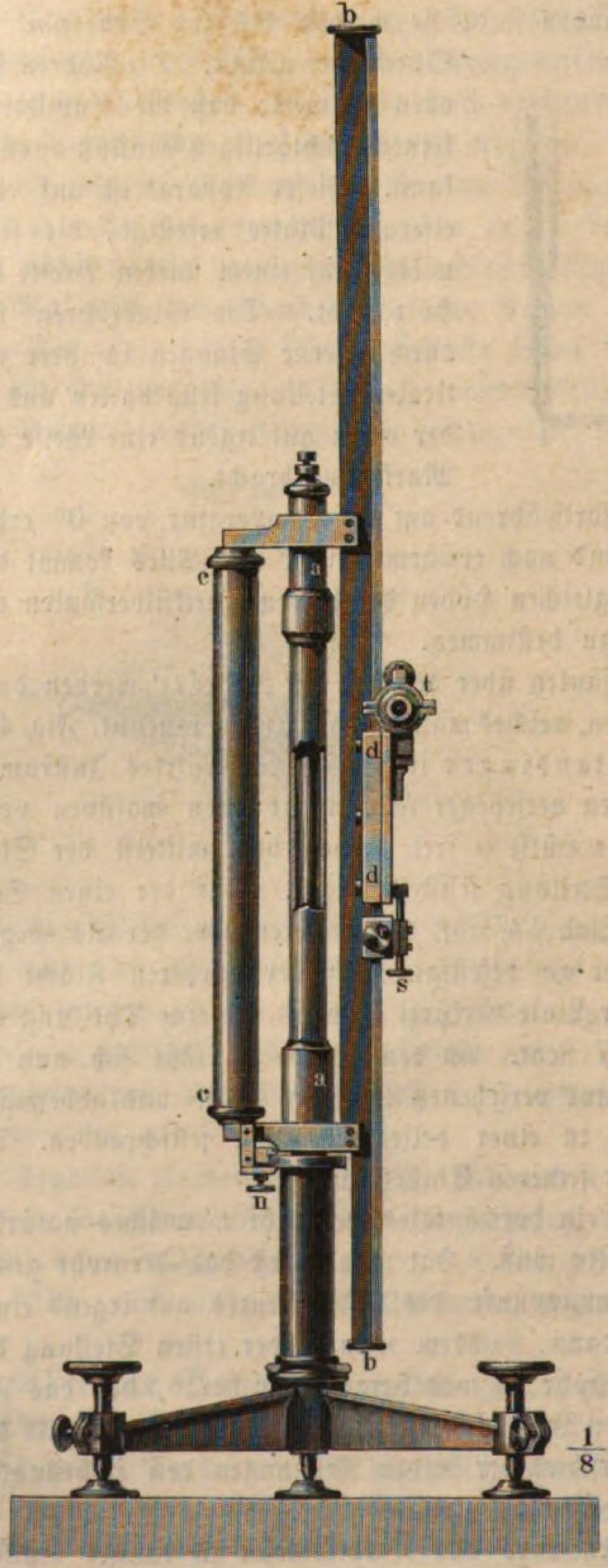
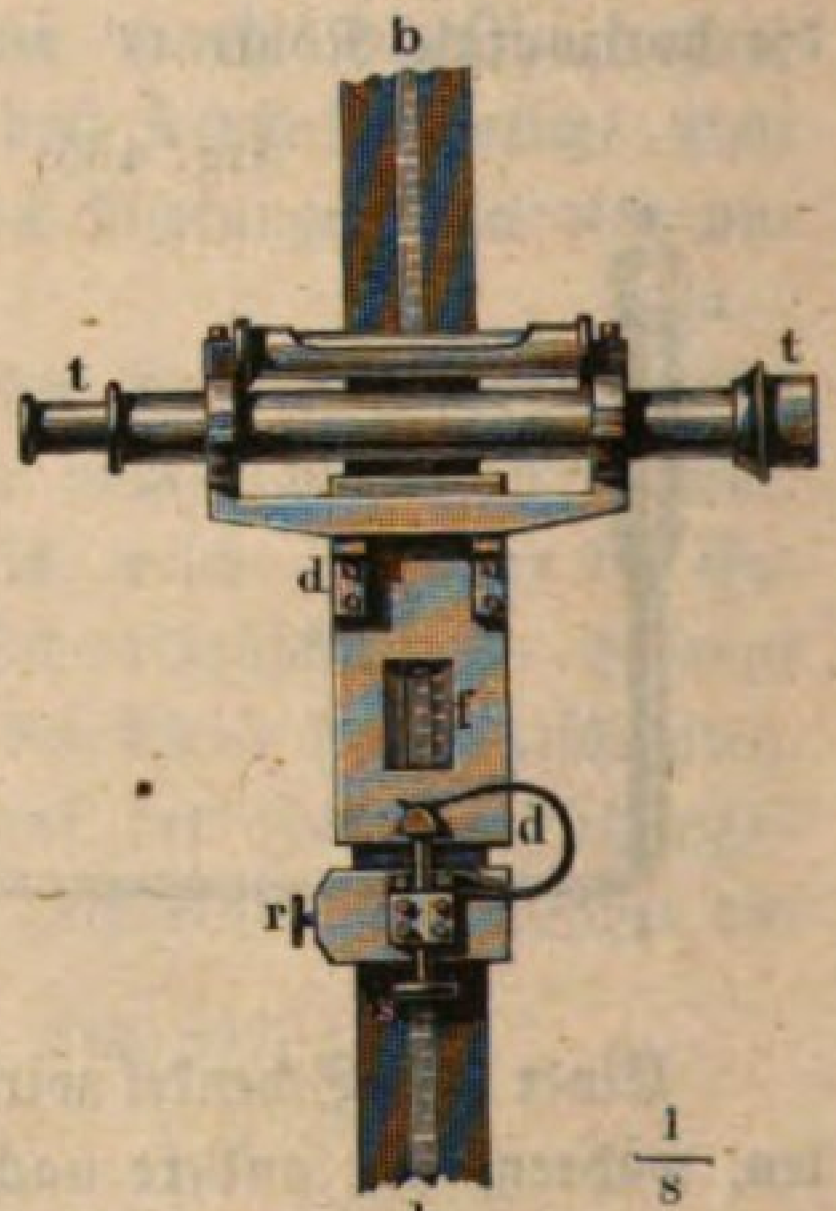


Fig. 467.



das Fernrohr auf- oder niederschieben muß, um die Gipfel der beiden Quecksilbersäulen nach einander in die Richtung der Axe des Fernrohrs zu bringen.

Die Temperaturen werden auf folgende Art bestimmt. Ein Cylinder, welcher die Röhre *at* umgiebt, wird mit gestoßenem Eise angefüllt. Die Röhre *a't'* ist ebenfalls von einem Cylinder aus Kupferblech umgeben, der mit einem fetten Oele angefüllt wird, welches wenigstens bis 300° erhitzt werden kann, ohne zu kochen. Dieser Kupfercylinder ist wieder von einem Ofen umgeben, welcher dazu dient, das Oelbad zu erwärmen. Vor jeder Beobachtung wurden alle Oeffnungen des Ofens verschlossen, in Folge dessen die Temperatur wenigstens so lange Zeit, als man zur Beobachtung nöthig hat, constant bleibt.

Die Temperatur wird durch zwei Thermometer bestimmt, von denen das eine ein Luftthermometer, das andere ein Gewichts-Quecksilberthermometer ist. Die Einrichtung und den Gebrauch derselben werden wir alsbald kennen lernen.

Nach dieser Methode, welche von der Ausdehnung des Glases ganz unabhängige Resultate giebt, fanden Dulong und Petit, daß sich das Quecksilber bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° um $\frac{1}{55,50}$ oder, was dasselbe ist, um 0,018018 . . . seines Volumens ausdehnt, d. h. wenn man mit v das Volumen einer Quecksilbermasse bei 0° bezeichnet, so wird dieselbe Masse bei 100° ein Volumen 1,018 . v einnehmen.

Regnault fand durch sehr genaue, auf dasselbe Princip gegründete Versuche, daß die absolute Ausdehnung des Quecksilbers von 0 bis 100° 0,018153 seines Volumens bei 0° beträgt.

Scheinbare Ausdehnung der Flüssigkeiten. Die scheinbare Ausdehnung einer Flüssigkeit ist die Differenz zwischen ihrer absoluten Ausdehnung und der cubischen Ausdehnung des Gefäßes, in welchem sie sich befindet. Um die scheinbare Ausdehnung zu bestimmen, kann man die beiden folgenden Methoden anwenden. 180

Man beobachtet den Gang eines Thermometers, von welchem man ganz genau ausgemittelt hat, in welchem Verhältnisse das Volumen eines solchen Röhrenstücks, welches zwischen zwei Theilstrichen liegt, zum Inhalte der Kugel steht. Es ist in der Regel mit großen Schwierigkeiten verbunden, dieses Verhältniß genau zu bestimmen.

Fig. 468.



Die zweite Methode beruht auf der Anwendung eines sogenannten Gewichtsthermometers, welches schon oben erwähnt wurde. Ein Glasgefäß, am besten von der Fig. 468 dargestellten Form, welches in eine feine gekrümmte Spitze ausgezogen ist, wird mit der Flüssigkeit bei 0° gefüllt. Man bestimmt alsdann das Gewicht der bei 0° im Gefäße enthaltenen Flüssigkeit und erwärmt es, indem man es in ein geeignetes Wasser- oder Oelbad bringt. Je mehr die Temperatur steigt, desto mehr Flüssigkeit wird aus der feinen Oeffnung hervordringen. Aus der Menge der Flüssigkeit, welche auf diese Weise aus dem Gefäße heraustritt, kann man die scheinbare Ausdehnung ermitteln. Gesetzt, das Quecksilber, welches bei 0° einen solchen Apparat füllt, habe 264 Gramm gewogen; man habe es bis 100° erwärmt, und dabei sei so viel Quecksilber ausgetreten, daß das, was im Gefäße zurückbleibt, nur noch 260 Gramm wiegt, so ist klar, daß das Quecksilber, wenn man die Ausdehnung des Gefäßes nicht berücksichtigen müßte, bei einer Temperaturerhöhung von 100° sich im Verhältniß von 260 zu 264 ausdehnte, d. h. also die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers von 0° bis 100° beträgt $\frac{4}{260}$ oder $\frac{1}{65}$.

Das Seite 497 angeführte Gewichts-Quecksilberthermometer, mit Hülfe dessen man die Temperatur des Oelbades bestimmt, ist ein Apparat dieser Art. Man bestimmt die Temperatur nach der Quantität des ausgetretenen Quecksilbers.

Eine andere von Gay-Lussac angegebene, in vielen Fällen zur Bestimmung der Ausdehnung von Flüssigkeiten sehr bequeme Form des Gewichtsthermometers ist Fig. 469 abgebildet. Der Hals eines Glasgefäßes von entsprechender Größe ist an einer Stelle ganz eng ausgezogen, so daß sich über der engen Stelle gewissermaßen ein Trichter befindet. Die engste Stelle des Halses a ist auf irgend eine Weise markirt. Man füllt nun die Kugel mit der zu untersuchenden Flüssigkeit, so daß sie noch über a hinaus im Trichter steht, und erkaltet das Ganze bis auf 0°, indem man den ganzen Apparat mit schmelzendem Schnee oder schmelzendem Eise umgiebt. Ist die Flüssigkeit bis auf 0° erkaltet, so entfernt man alle Flüssigkeit, welche noch über der Marke steht. Wenn man die so gefüllte Kugel wiegt, vom gefundenen Gewichte das des Glasgefäßes abzieht, so erhält man das Gewicht der Flüssigkeit, welche bei 0° in die Kugel geht. Sobald man die Kugel erwärmt, dehnt sich die Flüssigkeit aus, sie steigt über die Marke a in den Trichter. Wenn man bis zu einer bestimmten Temperatur, etwa bis auf 100°, erwärmt hat, nimmt man alle über a stehende Flüssigkeit wieder weg, und wiegt dann von Neuem. Nach den beiden Wägungen läßt sich dann leicht die scheinbare Ausdehnung berechnen.

Fig. 469.



$\frac{2}{3} - \frac{1}{2}$

Wenn die scheinbare Ausdehnung einer Flüssigkeit und die cubische Ausdehnung des Gefäßes bekannt ist, so kann man die absolute Ausdehnung berechnen; umgekehrt kann man die cubische Ausdehnung des Gefäßes bestimmen, wenn man die absolute und scheinbare Ausdehnung der Flüssigkeit kennt.

Dulong und Petit fanden für die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers in Glasgefäßen von 0° bis 100° $\frac{1}{64,80}$, oder, was dasselbe ist, 0,015432. Da nun die absolute Ausdehnung des Quecksilbers nach ihren Versuchen für eine gleiche Temperaturerhöhung 0,018018 ist, so ist die cubische Ausdehnung des Glasgefäßes 0,018018 — 0,015432 = 0,002586. Nun aber findet man den Ausdehnungscoëfficienten für die lineare Ausdehnung eines Körpers, wenn man den Ausdehnungscoëfficienten für die cubische Ausdehnung durch 3 dividirt. Für die Längenausdehnung des Glases ergiebt sich demnach der Ausdehnungscoëfficient 0,000862, wie man ihn auch auf Seite 487 angegeben findet. Auf diesem Wege haben Dulong und Petit wirklich den Ausdehnungscoëfficienten des Glases bestimmt.

Durch sehr genaue Versuche hat Regnault gezeigt, daß die Ausdehnung verschiedener Glassorten bei höheren Temperaturen so ungleichförmig ist, daß dadurch ein ganz verschiedener Gang der Thermometer veranlaßt wird, so daß zwei Thermometer, deren Kugeln aus verschiedenen Glassorten gefertigt sind und welche zwischen 0° und 100° genau mit einander gehen, über 100° hinaus differiren. So gab ein Thermometer von Krystallglas 340,07° an, während ein bis 100° mit ihm harmonirendes gleichzeitig in demselben Oelbade 333,72° zeigte; die Differenz beider Thermometer betrug also 6,35°.

Ungleichförmigkeit der Ausdehnung der Flüssigkeiten. Genauere Untersuchungen haben gezeigt, daß sich auch die Flüssigkeiten nicht der Temperatur proportional ausdehnen, sondern daß im Allgemeinen für gleiche Temperatur-Differenzen die Ausdehnung bei höheren Temperaturen bedeutender ist. 181

Bezeichnen wir das Volumen einer Flüssigkeit bei 0° mit 1, so wäre ihr Volumen bei t^0

$$V = 1 + at,$$

wenn die Ausdehnung stets den Temperaturen proportional bliebe; da aber diese Proportionalität nicht stattfindet, genügt diese Formel nicht mehr, und man muß Formeln von der Gestalt

$$V = 1 + at + bt^2 + ct^3$$

in Anwendung bringen; die Zahlenwerthe der constanten Factoren a, b und c müssen natürlich für jede Substanz besonders nach zuverlässigen Versuchen berechnet werden.

Das Volumen des Quecksilbers, bei 0° gleich 1 gesetzt, ist nach Regnault's Bestimmung bei t^0 des Luftthermometers gegeben durch die Formel

$$V = 1 + 0{,}000179007\,t + 0{,}0000000252316\,t^2,$$

also

bei 0°	= 1,000000	bei 200°	= 1,036811
» 50	= 1,009013	» 250	= 1,046329
» 100	= 1,018153	» 300	= 1,055973
» 150	= 1,027419	» 350	= 1,065743.

Ueber die Ausdehnung einer Reihe von verschiedenen Flüssigkeiten haben besonders Kopp und Pierre zahlreiche Versuche angestellt. Für einige der bekannteren Flüssigkeiten giebt Kopp zur Berechnung des Volumens bei t^0 folgende Formeln, das Volum der Flüssigkeit bei 0° gleich 1 gesetzt.

Alkohol (Specif. Gew. 0,80950; Siedpunkt 78,4°):

$$V = 1 + 0{,}00104139\,t + 0{,}0000007836\,t^2 + 0{,}000000017618\,t^3$$

(von 0° bis 79,8° gültig).

Aether (Specif. Gew. 0,73658; Siedpunkt 34,9°):

$$V = 1 + 0{,}00148026\,t + 0{,}00000350316\,t^2 + 0{,}000000027007\,t^3$$

(von 0° bis 33°).

Die folgende Tabelle giebt das nach diesen Formeln berechnete Volumen der beiden genannten Flüssigkeiten von 10 zu 10 Grad.

	Alkohol.	Aether.
0	1,00000	1,00000
10	1,01052	1,01518
20	1,02128	1,03122
30	1,03242	1,04829
40	1,04404	—
50	1,05632	—
60	1,06910	—
70	1,08278	—
80	1,09735	—

Nach Kopp's Bestimmung ist ferner

für wässerige Schwefelsäure (von 1,755 specif. Gew. bei 0°):

$$V = 1 + 0{,}000626\,t - 0{,}00000048836\,t^2 + 0{,}000000002795\,t^3;$$

für Olivenöl:

$$V = 1 + 0{,}000789\,t + 0{,}0000007726\,t^2 - 0{,}000000008274\,t^3;$$

für Terpentinöl:

$$V = 1 + 0{,}0009003\,t + 0{,}0000019595\,t^2 - 0{,}0000000045\,t^3.$$

Pierre giebt ähnliche Formeln; die nach ihnen berechneten Resultate stimmen sehr nahe mit den Kopp'schen überein.

Für schweflige Säure (Siedpunkt — 8°) giebt Pierre die Formel:

$$V = 1 + 0{,}0010382\,t + 0{,}0000017114\,t^2 + 0{,}000000005447\,t^3$$

(von — 7,4 bis + 60,2°);

für Chloräthyl (Siedpunkt 11°):

$$V = 1 + 0{,}0015746\,t + 0{,}0000028137\,t^2 + 0{,}000000015698\,t^3$$

(von — 31,6° bis + 96,4°);

für Schwefelkohlenstoff (Siedpunkt 47,9°):

$$V = 1 + 0{,}0011398\,t + 0{,}0000013707\,t^2 + 0{,}000000019123\,t^3$$

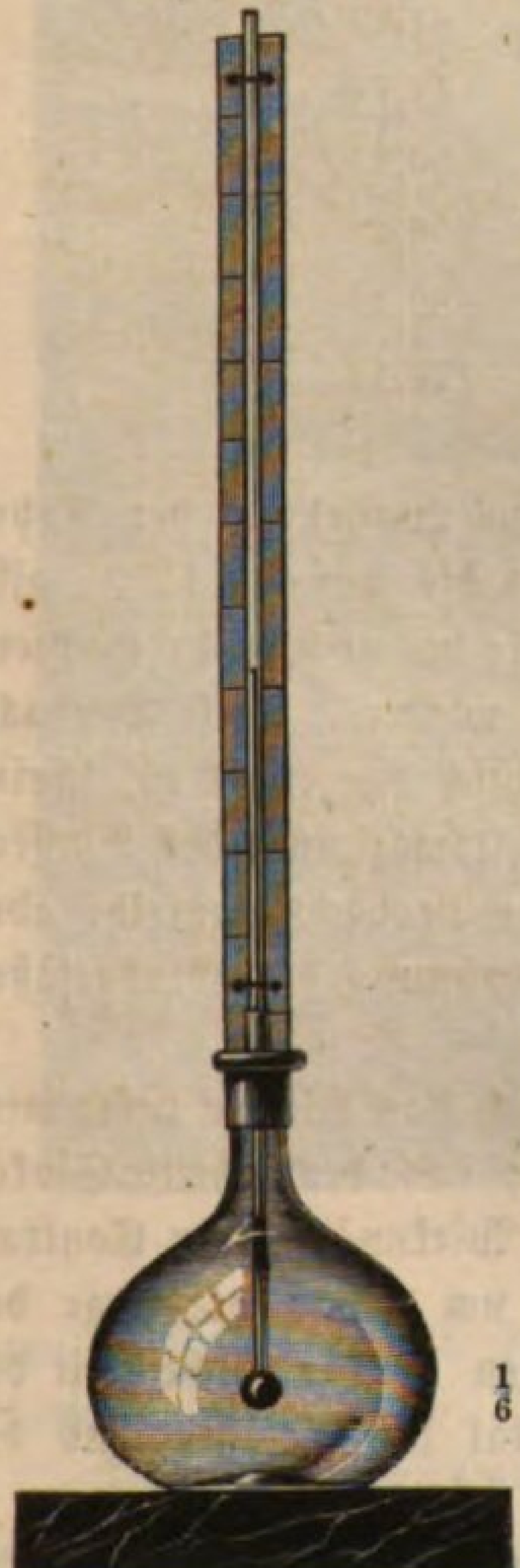
(von — 34,6° bis + 59,6°).

Setzen wir das Volumen der Flüssigkeit bei der Temperatur des Siedpunktes gleich 10000, so ist ihr Volumen für eine Temperatur von 10, von 20 u. s. w. Graden unter dem Siedpunkte nach den Formeln von Pierre, wie folgende Tabelle angiebt:

	Schwefelsäure.	Chloräthyl.	Schwefelkohlenstoff.	
0	10000	10000	10000	0
10	9820	9845	9878	10
20	9669	9698	9749	20
30	—	9556	9633	30
40	—	9419	9521	40
50	—	—	9413	50
60	—	—	9307	60
70	—	—	9201	70
80	—	—	9098	80

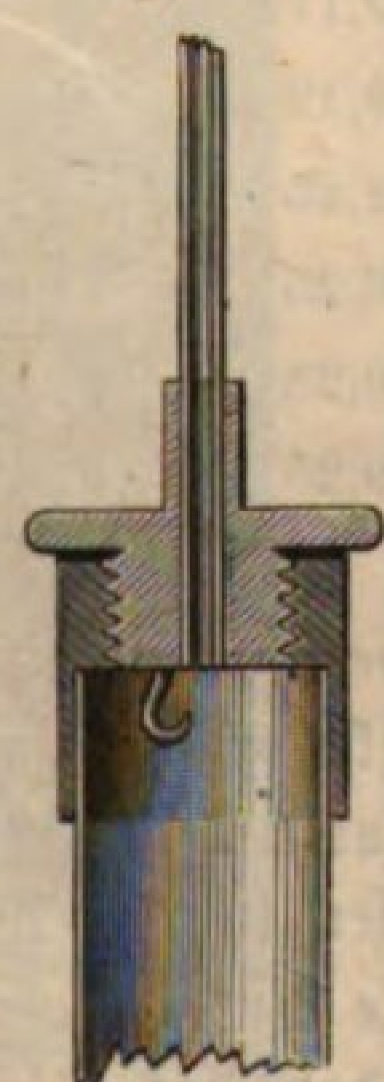
Dichtigkeitsmaximum des Wassers. Keine Flüssigkeit zeigt in 182
ihren durch die Wärme hervorgebrachten Volumveränderungen so große Ungleichförmigkeiten wie das Wasser, welches vor allen übrigen Flüssigkeiten besonders dadurch ausgezeichnet ist, daß es ein Dichtigkeitsmaximum besitzt.

Fig. 470.



$\frac{1}{6}$

Fig. 471.



Wenn man von 0° an seine Temperatur erhöht, zieht es sich zusammen, anstatt sich auszudehnen; es zieht sich mehr und mehr zusammen bis zu einer Temperatur von 4°, und von dieser Temperatur an dehnt es sich dann aus, wenn es noch mehr erwärmt wird. Bei einer Temperatur von 4° hat also das Wasser ein Dichtigkeitsmaximum. Am besten läßt sich dieses Phänomen an einem Wasserthermometer beobachten; um aber die Erscheinung recht deutlich zu machen, muß man ein Thermometer von etwas großen Dimensionen anwenden; ganz besonders möchte in dieser Hinsicht der Fig. 470 abgebildete Apparat zu empfehlen sein. Ein Ballon, welcher ungefähr 1 Liter hält, ist mit einer messingenen Fassung versehen, in welche eine in Messing gefaßte Glasröhre aufgeschraubt werden kann, wie Fig. 471 deutlicher zeigt. Zwischen der oberen Fläche der Fassung des Ballons und der Fassung der Röhre ist eine mit Talg getränkte Lederscheibe eingelegt, so daß man überzeugt

sein kann, daß bei gehörigem Anziehen der Schraube hier kein Wasser entweicht. Am unteren Ende der Schraube ist ein Häkchen angebracht, an welches man ein Thermometer hängen kann. Dieses Thermometer, ganz von dem Wasser des Ballons umgeben, zeigt die Temperatur desselben. Zu genauer Messung der Temperatur kann jedoch dieses Thermometer nicht dienen, weil man es der Lichtbrechung wegen nicht ganz richtig ablesen kann. An der Glasröhre ist ein getheilter Stab angebracht, um darauf die Variationen der Wassersäule im Rohre abzulesen. Zum Nullpunkte der Theilung kann man den untersten Punkt des getheilten Stabes nehmen.

Mit einem Apparate dieser Art wurden folgende Beobachtungen gemacht:

Temperatur des Wassers.	Stand des Wassers in der Röhre.	Reducirter Wasserstand.
0° C.	48,75cm	48,75cm
1,56	39,25	42,79
3,5	31,25	39,19
4	30,3	39,38
5,25	29,17	41,09
5,75	29,12	42,17
8	32,25	50,41
9	36,25	56,68
12	56,25	82,49
16,25	89,25	126,14

Während also bei einer Temperatur von 0° das Wasser in der Röhre $48^3/_4$ Centimeter über dem Nullpunkte stand, sank es bis auf 29,12cm, also um 19,63cm, während die Temperatur um 5,75° stieg; bei noch mehr wachsender Temperatur stieg aber das Wasser in der Röhre wieder. Diese Beobachtungsreihe, welche Fig. 472 durch die Linie *abc* graphisch dargestellt ist, scheint auf den ersten Anblick anzudeuten, daß das Dichtigkeitsmaximum des Wassers bei einer Temperatur von $5^3/_4$° stattfindet; aus dieser Beobachtungsreihe aber folgt ein ganz anderes Resultat, wenn man die Ausdehnung des Glasgefäßes mit in Rechnung bringt.

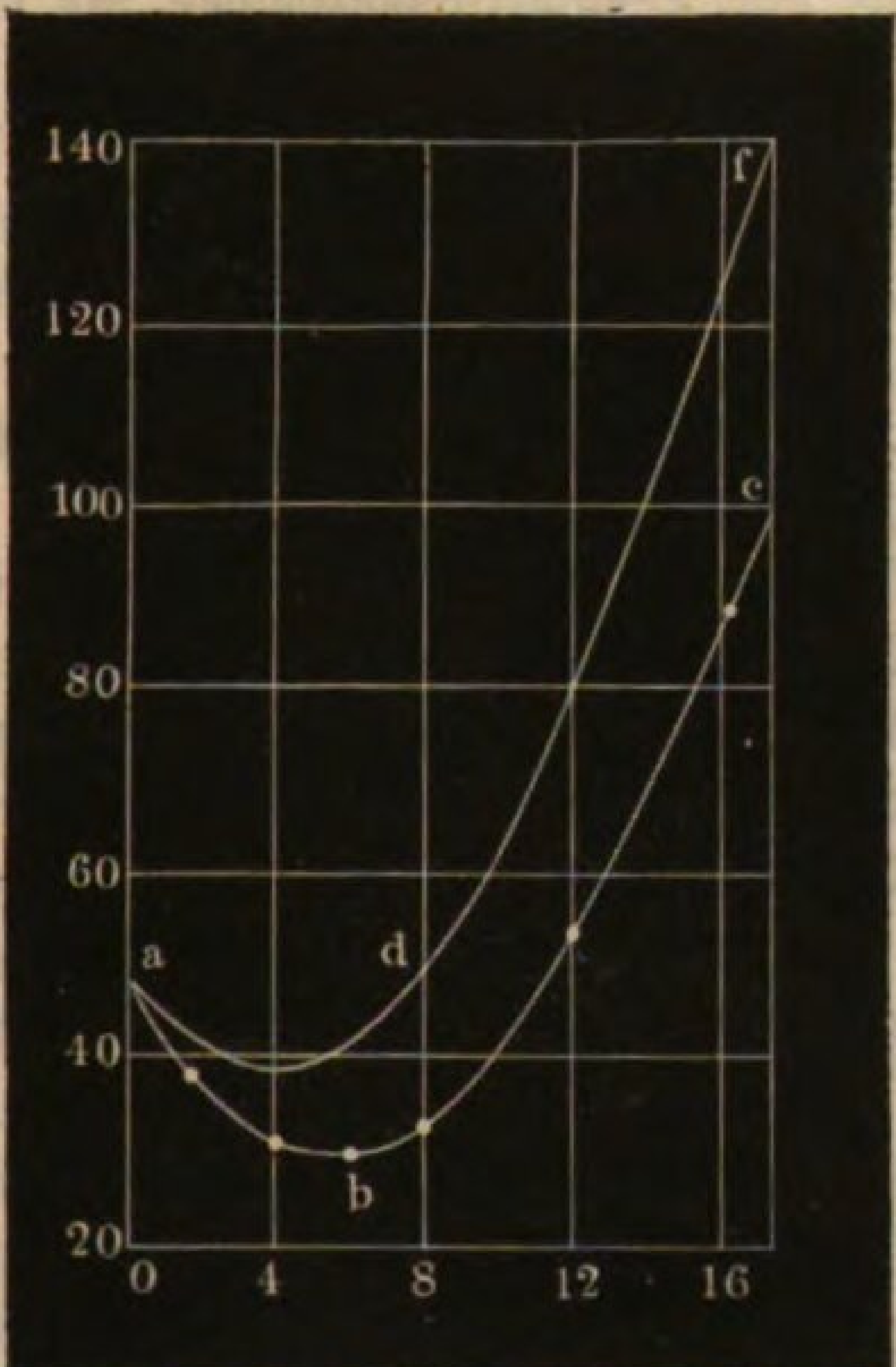
Wenn von 0° an die Temperatur steigt, zieht sich das Wasser zusammen, das Volumen des Glasgefäßes aber vergrößert sich; das beobachtete Sinken der Wassersäule ist also gleichsam die Summe zweier Wirkungen, der Contraction des Wassers und der Ausdehnung des Glases; um genau die Lage des Dichtigkeitsmaximums und die Größen-Veränderungen in der Dichtigkeit des Wassers zu bestimmen, muß man genau die Capacität des Gefäßes und der Röhre ausmitteln.

Der Inhalt des Ballons betrug bei jenem Apparat 1016 Cubikcentimeter,

ein Röhrenstück von 10 Centimeter Länge hatte aber eine Capacität von 0,118 Cubikcentimeter. Berechnet man die cubische Ausdehnung des Glasgefäßes für 1° C., so findet man, daß es sich für eine solche Temperaturerhöhung um 0,02682 Cubikcentimeter ausdehnt; wenn also das Wasser unter dem Einflusse der Wärme sich weder ausdehnte, noch zusammenzöge, so würde doch, so oft die Temperatur um 1° steigt, in Folge der Glasausdehnung das Wasser in der Röhre um 2,27 Centimeter sinken, da, wie man leicht berechnen kann, ein Röhrenstück von 2,27 Centimeter Länge einen cubischen Inhalt von 0,0268 Cubikcentimetern hat.

Nun ist es leicht, den Einfluß der Glasausdehnung auf den Gang der Erscheinung nachzuweisen; wenn keine Glasausdehnung stattfände und der Ballon stets dieselbe Capacität hätte wie bei 0°, so würde bei 1° das Wasser um 2,27^{cm}, bei 2° um 2 . 2,27, bei 3° um 3 . 2,27 u. s. w. höher stehen, als man beobachtet hat. Berechnet man auf diese Weise für jede der in obiger Tabelle enthaltenen Temperaturen den Wasserstand, wie er sein würde, wenn die Glasausdehnung nicht influirte, so erhält man die Zahlen der dritten Columne obiger Tabelle, welche den Gang der Zusammenziehung und der Ausdehnung des Wassers darstellen. Nach diesen Zahlen ist die wahre Ausdehnungscurve *adf*, Fig. 472, des Wassers construirt. Man sieht, daß das Dichtigkeitsmaximum wirklich in der Nähe von 4° liegt.

Fig. 472.



Der Apparat Fig. 470 wurde während einiger Wintermonate in einem ungeheizten Zimmer aufgestellt, in welchem kein rascher Temperaturwechsel stattfinden konnte, und nur dann eine Ablesung vorgenommen, wenn das Thermometer im Wasser dieselbe Temperatur zeigte, wie ein neben dem Apparate aufgehängtes, so daß man von der Gleichförmigkeit der Temperatur der ganzen Wassermasse überzeugt sein konnte. Bei der Beobachtungsreihe, deren Resultate in der Tabelle auf Seite 498 angeführt sind, wurden nicht alle Vorsichtsmaßregeln angewendet, um ein ganz genaues Resultat zu sichern; doch sind diese Resultate der Wahrheit gewiß sehr nahe und dienen sehr gut, um den Gang des Phänomens zu übersehen.

Das Dichtigkeitsmaximum des Wassers wurde schon im 17ten Jahrhundert von den Mitgliedern der Academia del Cimento beobachtet.

Fig. 474.



$\frac{1}{5}$

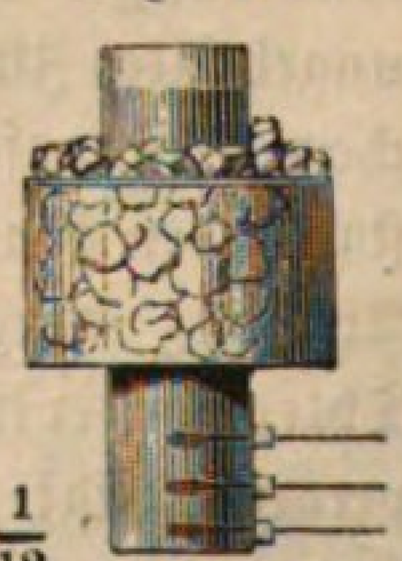
Wenn man in ein 0° bis 2° warmes Zimmer ein ungefähr 8 Zoll hohes und 3 Zoll weites Gefäß bringt, welches mit Wasser von 8 bis 10° gefüllt ist, so wird sich das Wasser allmälig abkühlen. Ist nun ein Thermometer ungefähr 2 Zoll über dem Boden, ein anderes ungefähr 2 Zoll unter dem Wasserspiegel angebracht, so wird nach einiger Zeit das untere Thermometer eine niedrigere Temperatur zeigen als das obere; ist das untere Thermometer ungefähr bis auf 4° herabgegangen, so sinkt es nun nicht weiter, bis auch das obere dieselbe Temperatur zeigt, und nun sinkt die Temperatur des oberen Thermometers rascher als die des unteren, so daß, wenn einmal die Temperatur unter 4° gesunken ist, die tieferen Wasserschichten wärmer sind als die höheren.

Da nun das specifisch leichtere Wasser stets in die Höhe steigt, so zeigt uns auch dieser Versuch, daß Wasser von 4° schwerer ist als wärmeres und als kälteres, daß also bei 4° C. das Wasser sein Dichtigkeitsmaximum hat.

Tralles, Hope und Hallström haben auf diese Weise die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums für das Wasser ermittelt.

Man kann zu diesem Versuche auch den Fig. 473 abgebildeten Apparat anwenden, bei welchem die Erkaltung durch Eisstücke hervorgebracht wird, die sich in einer Hülle befinden, welche den oberen Theil des mit Wasser gefüllten Gefäßes umgiebt.

Fig. 473.



$\frac{1}{12}$

Die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums ist 4°, als Mittel aus den besten Beobachtungen, welche zwischen 3,780° und 4,108° schwanken. Diese Differenzen zwischen den Beobachtungen sind leicht erklärlich, wenn man bedenkt, wie außerordentlich wenig sich die Dichtigkeit des Wassers in der Nähe dieses Punktes ändert.

Nach diesen Bemerkungen ist klar, daß ein Wasserthermometer in der Weise graduirt, wie ein Quecksilberthermometer, ganz unbrauchbar sein würde. Soll ein Wasserthermometer richtige Temperaturen angeben, so muß man es nach einem Quecksilberthermometer graduiren, d. h. man muß beide nebeneinanderhängen, so daß sie gleichen Temperaturen ausgesetzt sind und dann die Punkte an der Röhre des Wasserthermometers bezeichnen, bei welchen der Gipfel der Wassersäule steht, wenn das Quecksilberthermometer

0, 1°, 2°... n° zeigt. So erhält man auf empirischem Wege die Scala des Wasserthermometers, wie sie in Fig. 474 dargestellt ist. Man sieht aus dieser Figur, daß ein Wasserthermometer ungefähr bei 6° C. seinen tiefsten Stand erreicht, daß es bei 0° eben so steht als bei 11°, daß das Wasser, unter 0° erkaltet, fortfährt sich auszudehnen und daß der Gipfel der Wassersäule bei — 3° eben so hoch als bei + 15°. Ferner übersieht man aus dieser Figur deutlich, wie außerordentlich ungleich die Länge der einzelnen Grade auf der Röhre eines Wasserthermometers ausfällt.

Daß der niedrigste Stand des Wasserthermometers nicht mit der Temperatur des Dichtigkeitsmaximums zusammenfällt, rührt von dem Einflusse der Glasausdehnung her, wie nach der Darstellung auf Seite 503 wohl verständlich sein wird.

Die Dichtigkeit des Wassers für verschiedene Temperaturen zwischen 0° und 20° bestimmte Hallström mit Hülfe der hydrostatischen Wage. Nach seinen Beobachtungen beträgt die Contraction des Wassers von 0° bis zur Temperatur der größten Dichtigkeit 0,00010824 seines Volumens. Despretz suchte die Dichtigkeit des Wassers zwischen 4° und 100° durch die Beobachtung thermometerartiger Apparate zu bestimmen. Er machte 19 Beobachtungen zwischen 4° und 100° und entwarf danach mittelst graphischer Interpolation eine Tabelle, von welcher folgende ein Auszug ist.

Wahre Volumina des Wassers nach Despretz.

Temp.	Volumen.	Temp.	Volumen.	Temp.	Volumen.
4° C.	1,0000000	20° C.	1,00179	60° C.	1,01698
6	1,0000309	25	1,00293	70	1,02255
8	1,0001216	30	1,00433	80	1,02885
10	1,0002684	40	1,00773	90	1,03566
15	1,0008751	50	1,01205	100	1,04315

Setzt man das specifische Gewicht des Wassers bei 4° gleich 1, so erhält man das specifische Gewicht für jede andere Temperatur, wenn man das dieser Temperatur entsprechende Volumen in 1 dividirt.

Später haben sich besonders noch Pierre, Kopp, Plücker und Geißler mit Versuchen über die Ausdehnung des Wassers beschäftigt. Kopp suchte besonders das Volumen des Wassers bei höheren Temperaturen bis in die Nähe des Siedpunkts mit Genauigkeit zu ermitteln. Für die Abhängigkeit des Volumens von der Temperatur konnte er so wenig wie andere Physiker eine Formel finden, welche für alle Temperaturen den Versuchsresultaten Genüge leistet; für verschiedene Temperaturintervalle muß man verschiedene Formeln in Anwendung bringen; so ist nach Kopp für Wasser

zwischen 0° und 25° C.

$$V = 1 - 0{,}000061045\,t + 0{,}0000077183\,t^2 - 0{,}00000003734\,t^3;$$

von 25° bis 50°

$$V = 1 - 0{,}000065415\,t + 0{,}0000077587\,t^2 - 0{,}000000035408\,t^3;$$

von 50° bis 75°

$$V = 1 + 0{,}00005916\,t + 0{,}0000031849\,t^2 + 0{,}0000000072848\,t^3;$$

von 75° bis 100°

$$V = 1 + 0{,}00008645\,t + 0{,}0000031892\,t^2 + 0{,}0000000024487\,t^3.$$

Danach ist folgende Tabelle berechnet:

t	*V*	*t*	*V*
0°	1,000000	50°	1,011766
5	0,999883	60	1,016590
10	1,000124	70	1,022246
20	1,001567	80	1,028581
30	1,004064	90	1,035397
40	1,007531	100	1,042986

Frankenheim hat nach Pierre's Versuchen, welche für niedrigere Temperaturen sehr gut mit denen von Kopp übereinstimmen, ähnliche Formeln berechnet. Für Temperatur von — 15° bis 0° giebt er die Formel

$$V = 1 - 0{,}00009417\,t + 0{,}000001449\,t^2 - 0{,}0000005985\,t^3.$$

Hiernach sind für Temperaturen unter dem Gefrierpunkte Folgendes die zusammengehörigen Werthe von t und V

t	*V*
— 15°	1,0037384
— 10	1,0016851
— 5	1,0005819
0	1,0000000

In Fig. 475 ist der Gang der Ausdehnung des Wassers zwischen — 4° und + 12° nach den Versuchen von Plücker und Geißler graphisch dargestellt und zwar durch die stark gezogene Curve. Die andere Curve entspricht

den Versuchen von Despretz, welche sich sehr gut auf die von Plücker und Geißler erhaltenen Resultate reduciren lassen, wenn man annimmt, daß er nur einen unbedeutenden Fehler in der Bestimmung der Glasausdehnung gemacht habe.

Die Abscissen dieser Figur sind den Temperaturgraden, die Ordinaten den Milliontheilen des Volums von 0° proportional.

Fig. 475.

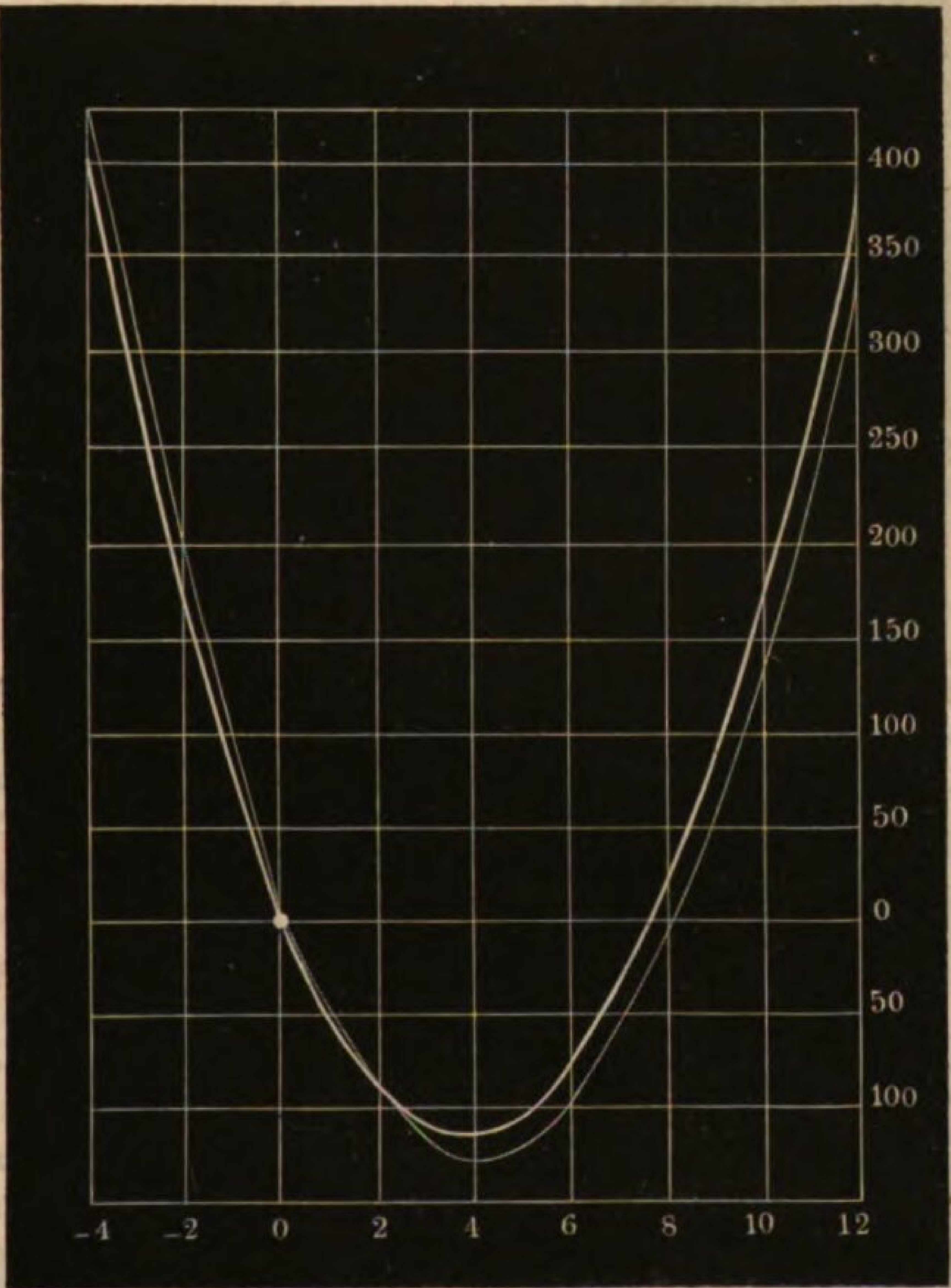
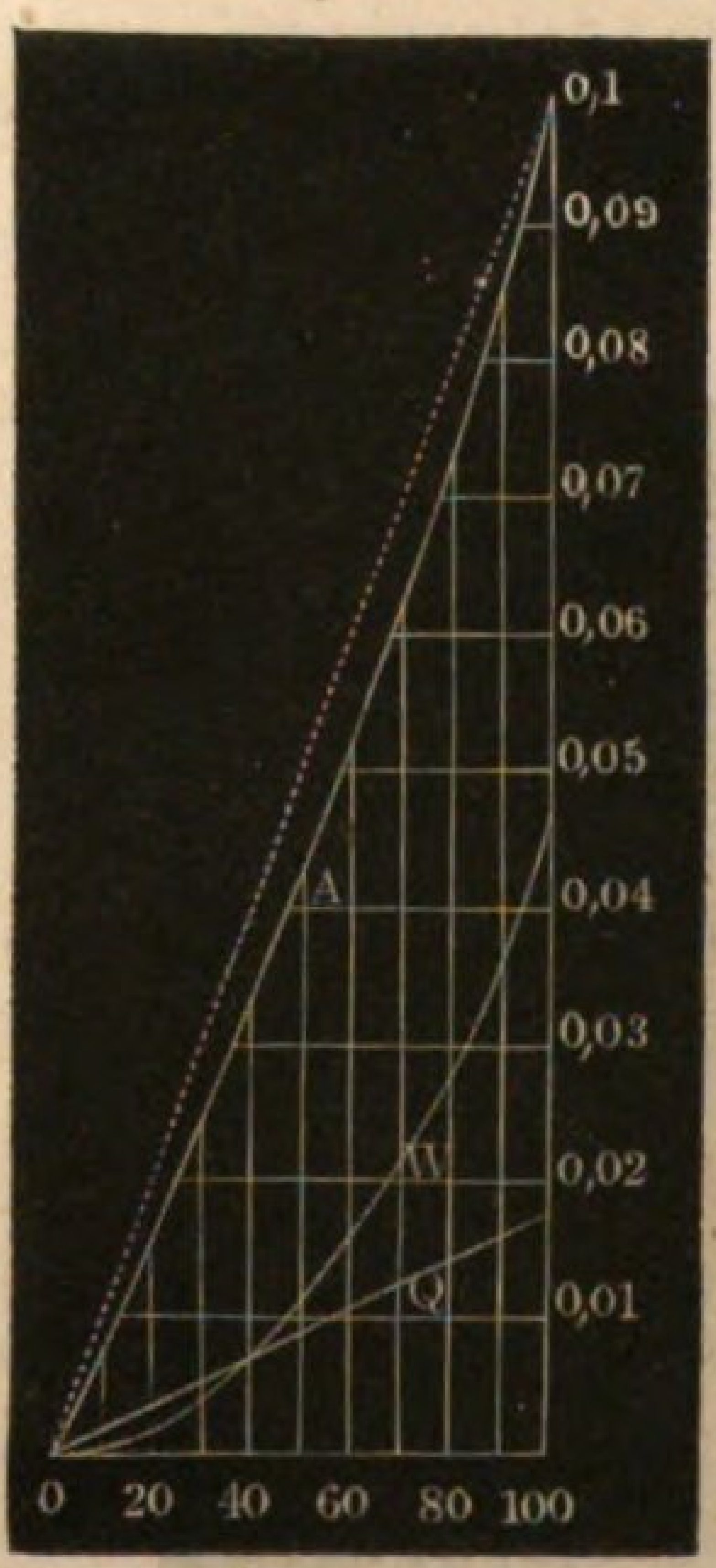


Fig. 476 (a. f. S.) dient dazu, den Gang der Ausdehnung von Quecksilber, Wasser und Weingeist anschaulich zu machen und unter einander zu vergleichen. Die unterste Curve stellt das Ausdehnungsgesetz des Quecksilbers dar, sie ist eine gerade Linie, weil diese Flüssigkeit sich zwischen 0° und 100° gleichförmig ausdehnt. Das Wasser dehnt sich zwischen diesen Temperaturgränzen stärker aus, und zwar um 0,045 seines Volumens bei 0°; allein die Ausdehnung ist nicht gleichförmig. Die mittlere Curve stellt das Ausdehnungsgesetz des Wassers dar. Wegen Kleinheit des Maaßstabes ist hier der Gang der Ausdehnung von

0° bis gegen 10° nicht genau zu verfolgen. Bei wachsender Temperatur dehnt sich das Wasser in einem immer wachsenden Verhältnisse aus, wie man aus der Curve leicht ersieht. Die oberste Curve stellt die Ausdehnung des Weingeistes dar; diese Curve bildet anfangs eine gerade Linie, denn der Weingeist dehnt sich bis 50° gleichförmig aus, von da an aber in wachsendem Verhältnisse. Aus der Vergleichung der Ordinaten ersieht man, um den wievielten Theil des Volumens bei 0° sich jene Flüssigkeiten bei einer bestimmten Temperaturerhöhung ausdehnen.

Fig. 476.



183 **Ausdehnung der Körper beim Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand.** In der Nähe derjenigen Temperaturgrade, bei welchen der Uebergang eines Körpers aus einem Aggregatzustand in den anderen stattfindet, ist seine Ausdehnung in der Regel unregelmäßig; im Moment des Flüssigwerdens fester Körper findet dann häufig noch eine gleichsam stoßweise Volumenveränderung statt. Einzelne hierhergehörige Thatsachen, namentlich beim Wasser, sind schon längst bekannt; eine zusammenhängende Untersuchung über die Aenderung des Volumens einer Reihe von festen Körpern im Moment des Schmelzens hat aber erst Kopp angestellt.

Fig. 477.



$\frac{1}{2}$

Er bediente sich zu dieser Untersuchung thermometerartiger Apparate, deren Einrichtung aus Fig. 477 deutlich sein wird. (Ann. der Chem. u. Pharm. Bd. XCIII.) — Ein Glasröhrchen *a*, welches den zu untersuchenden festen Körper enthält, wird in einen etwas weiteren, unten zugeschmolzenen Glascylinder eingesetzt, und dieser, nachdem er mit einer passenden Flüssigkeit gefüllt worden ist, durch einen Kork geschlossen, in dessen Mitte ein graduirtes Glasröhrchen steckt. Man muß dabei die größte Vorsicht anwenden, daß in dem durch den Kork abgesperrten Raume durchaus keine Luftblasen zurückbleiben.

Damit der Kork, der natürlich fehlerfrei sein muß, fest und sicher schließt, wird er erst mit Wasser durchfeuchtet und dann in Oel getaucht, welches über 100° erwärmt ist; das Oel tritt dann durch den ganzen Kork hindurch an die Stelle des verdampfenden Wassers und macht ihn undurchdringlich für Wasser. Damit der Kork besser festsitzt, ist der obere Rand des Glascylinders etwas eingezogen.

Zunächst wurde nun das Gewicht des leeren Apparates bestimmt, sodann das absolute und specifische Gewicht des zu untersuchenden Körpers ermittelt und, nachdem der noch übrige Raum des Apparates mit Wasser gefüllt und der Kork aufgesetzt war, durch eine dritte Wägung das Gewicht des eingeschlossenen Wassers bestimmt.

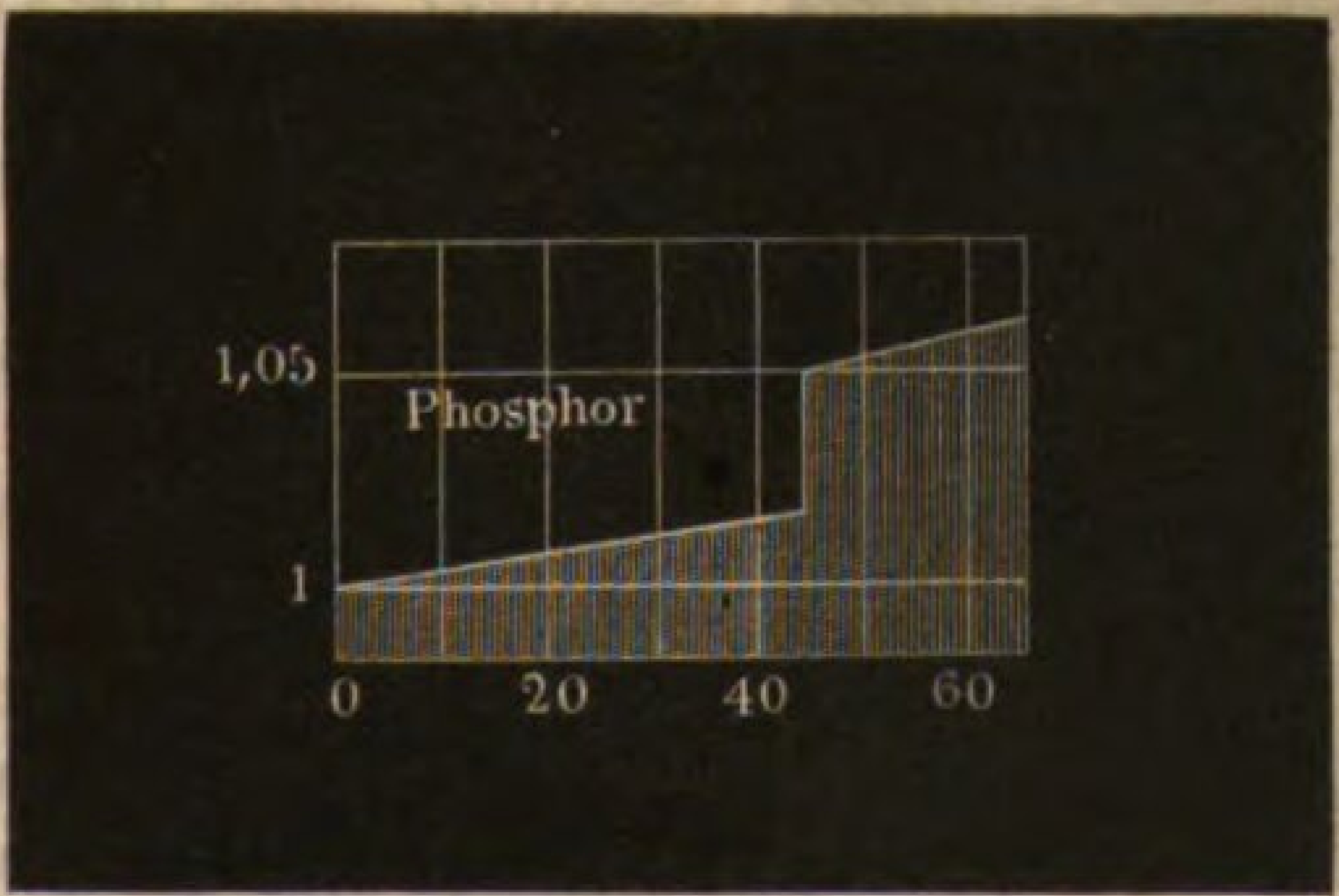
Der so vorgerichtete Apparat wurde nun nebst einem Thermometer in ein Oelbad gebracht, welches durch eine untergesetzte Weingeistlampe einige Zeit hindurch auf einer constanten Temperatur erhalten werden konnte, welche um so höher stieg, je größer die Flamme der Lampe gemacht wurde. Wenn man überzeugt sein konnte, daß der Apparat vollständig die Temperatur des Oelbades angenommen habe, wurde jedesmal der Stand des Thermometers und der Stand des Wassers in der graduirten Röhre des Apparates abgelesen. Aus diesen Ablesungen kann man nun die Ausdehnung des im Röhrchen *a* enthaltenen Körpers berechnen, vorausgesetzt, daß man den Rauminhalt der Röhre zwischen je zwei Theilstrichen, das Ausdehnungsgesetz der Flüssigkeit im Apparate (in den meisten Fällen Wasser) und das Ausdehnungsgesetz des Glasgefäßes gehörig in Betracht zieht.

Um die Ausdehnung zu ermitteln, welche bei der Schmelzung des festen Körpers stattfindet, muß man den Stand des Wassers in der graduirten Röhre des Apparates, Fig. 477, bei einer Temperatur beobachten, welche nur wenig unter dem Schmelzpunkte liegt, und dann nach erfolgter Schmelzung eine zweite Beobachtung möglichst nahe über dem Schmelzpunkte machen.

Nach dieser Methode fand Kopp das Volumen des Phosphors, (Schmelzpunkt 44° C.) für

0° C.	1,0000
20	1,0077
40	1,0153
44	1,0160 fest 1,0517 flüssig
50	1,0549
70	1,0656

Fig. 478.



Diese Resultate sind in Fig. 478 graphisch dargestellt. Der Phosphor, welcher sich vor und nach der Schmelzung ziemlich gleichförmig ausdehnt, erfährt also eine stoßweise Ausdehnung im Moment der Schmelzung.

Für Schwefel (rhombisch krystallisirten) fand

Kopp die den verschiedenen Temperaturen entsprechenden Volumina, wie folgt:

0° C.	1,0000	
30	1,0051	
60	1,0127	
90	1,0203	
115	1,0956	fest
	1,1504	flüssig
140	1,1636	
160	1,1741	

Bis gegen 60° hin ist die Ausdehnung des Schwefels unbedeutend und ziemlich gleichförmig; von 90° an wächst sie bedeutend, um bei der Schmelzung noch eine stoßweise Zunahme zu erfahren.

Fig. 479.

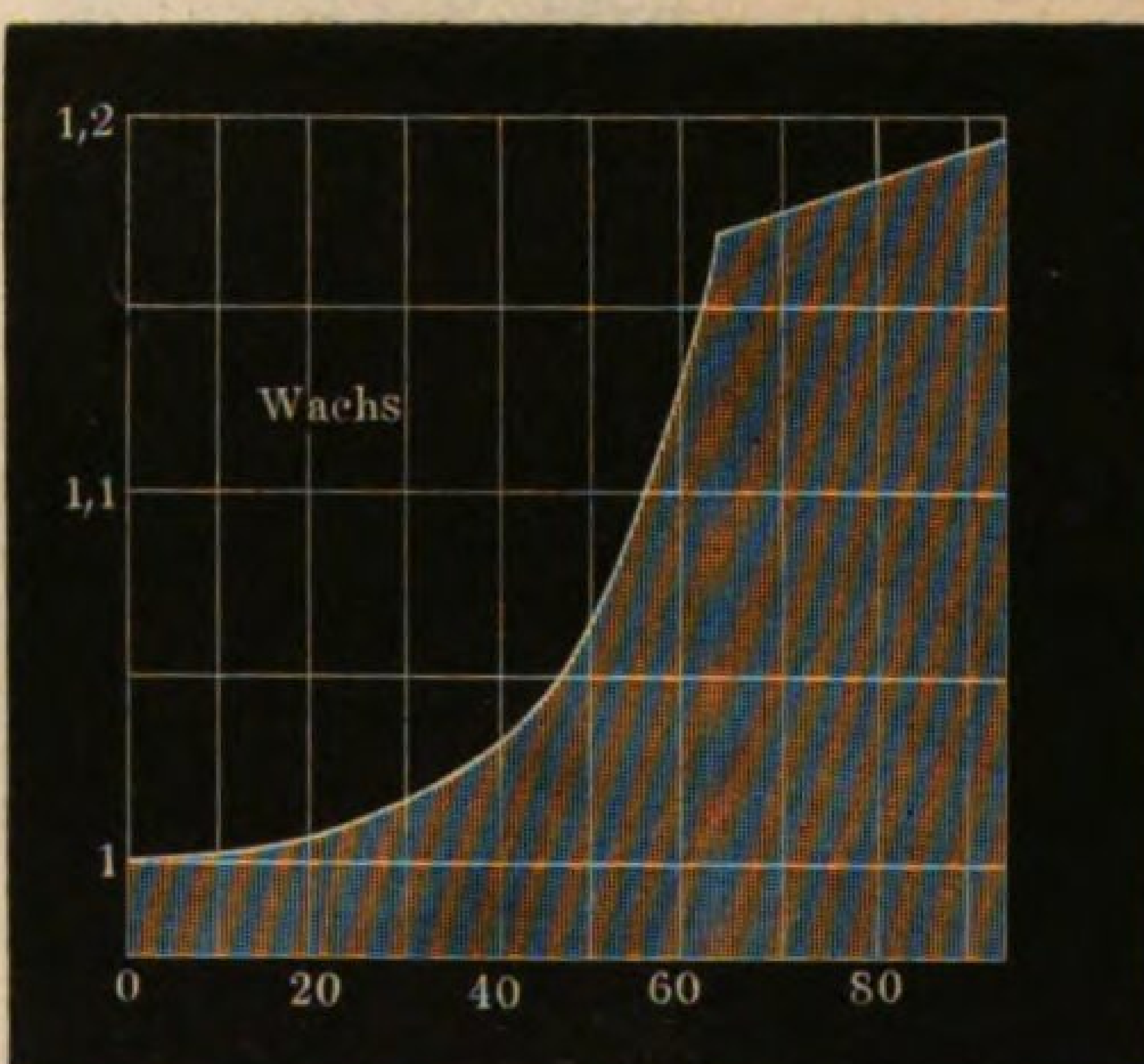
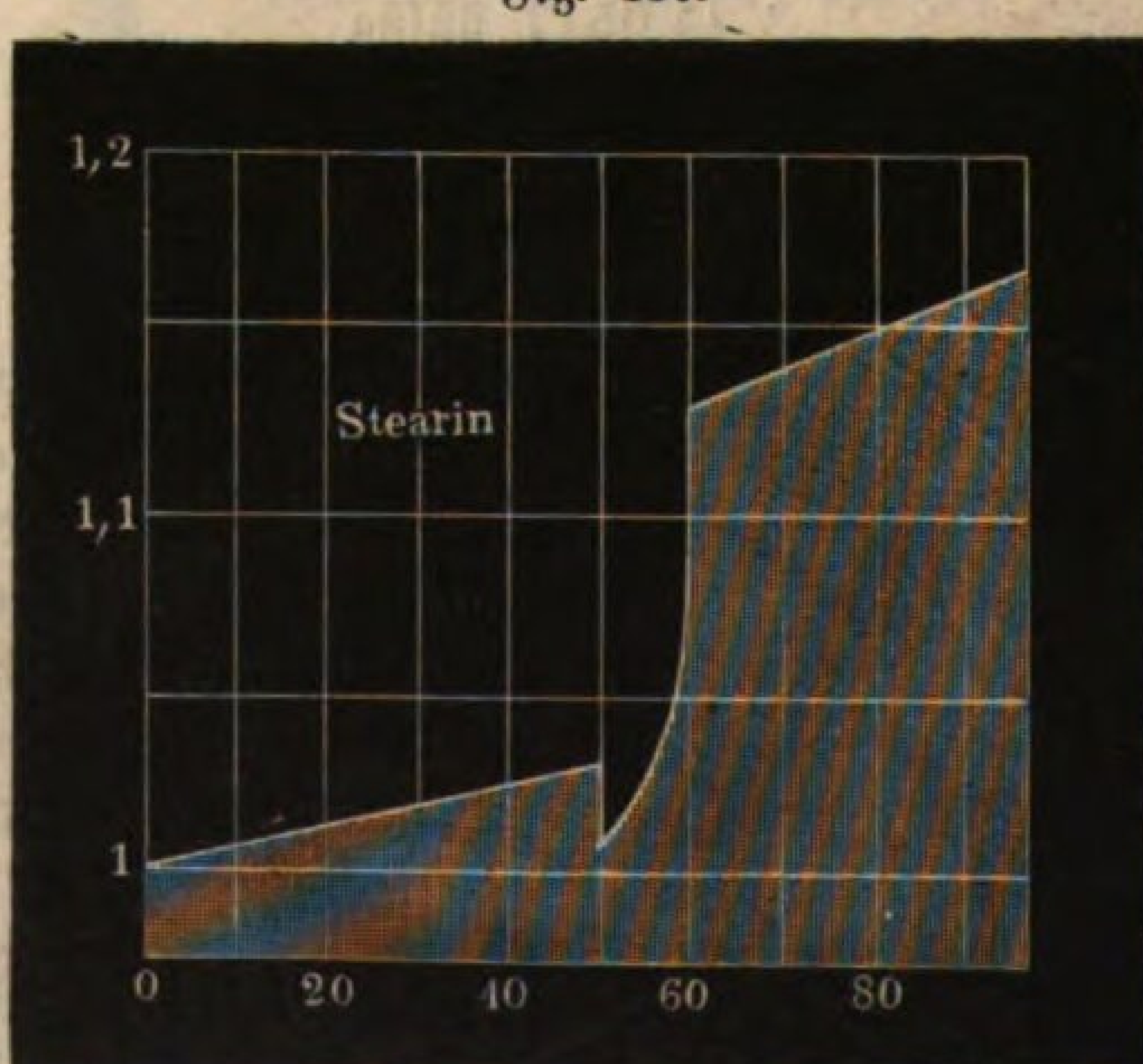


Fig. 480.



Bei den Versuchen mit Schwefel war verdünnte Schwefelsäure statt Wasser in dem Apparate, Fig. 477, angewandt worden.

Fig. 479 stellt, nach Kopp's Versuchen, das Ausdehnungsgesetz des weißen Wachses (Schmelzpunkt 64°) und Fig. 480 das des Stearins (Schmelzpunkt 60°) dar. Der letztere Körper zeigt die Eigenthümlichkeit daß er sich bei 50° plötzlich zusammenzieht, um sich nachher bei steigender Temperatur rasch wieder auszudehnen.

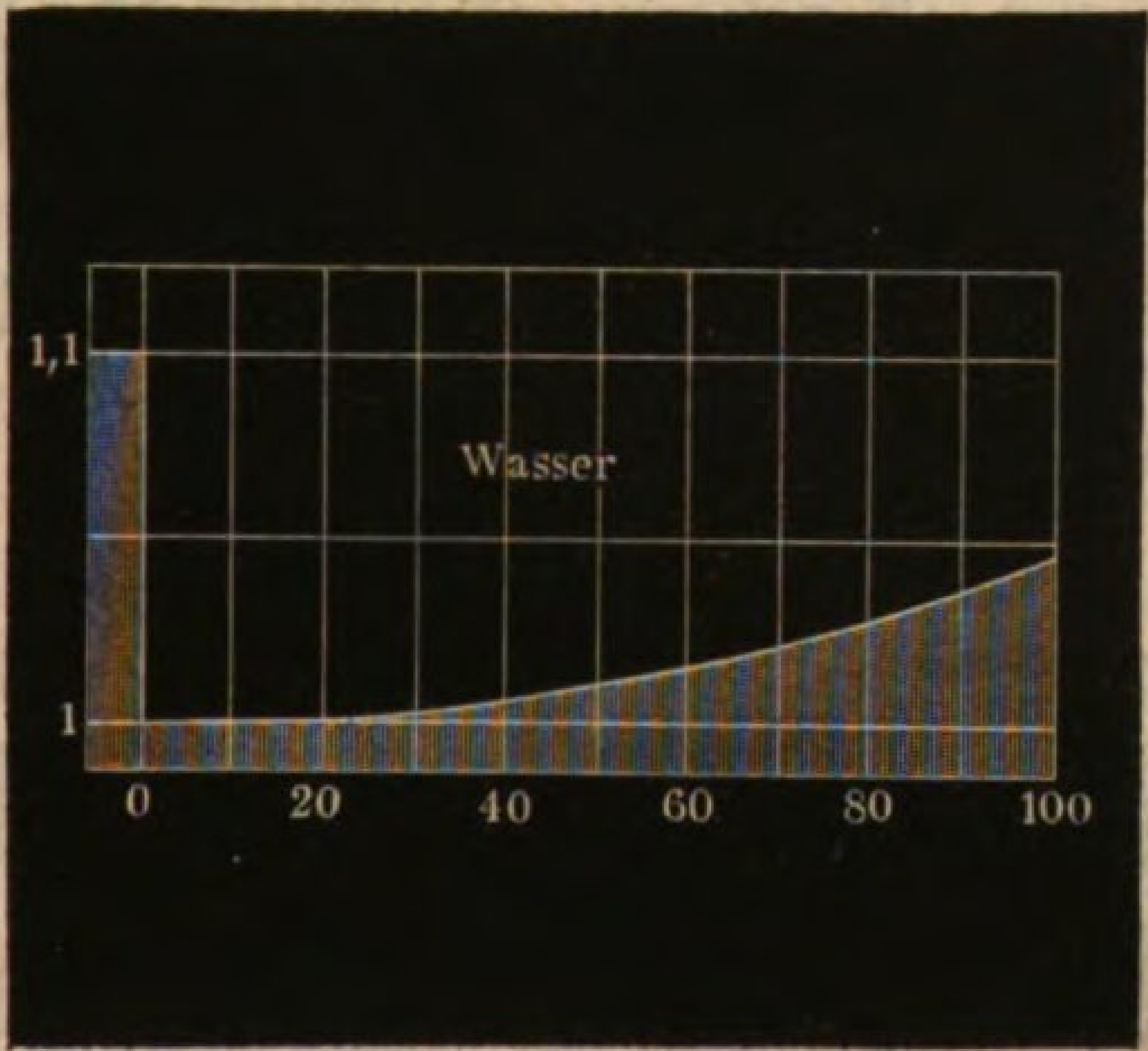
Ein ganz eigenthümliches Verhalten beobachtet man beim Erstarren des Wassers, indem sich dasselbe beim Uebergang aus den flüssigen in den festen Zustand bedeutend ausdehnt, was dann auch zur Folge hat, daß das Eis auf Wasser, selbst auf kochendem, schwimmt.

Um die Ausdehnung des Wassers im Momente des Gefrierens zu ermit-

teln, wurde das Röhrchen *a*, Fig. 477, mit luftfreiem Wasser und der übrige Apparat mit Terpentinöl gefüllt. Zuerst wurde der ganze Apparat durch Eintauchen in schmelzendem Schnee auf 0° erkaltet und der entsprechende Stand der Meßröhre abgelesen; danach wurde der Apparat in eine Kältemischung von ungefähr — 10° gesetzt, und nach dem Erstarren des Wassers die Meßröhre abermals abzulesen. Nach Kopp's Versuchen beträgt die Ausdehnung, welche das Wasser im Moment des Festwerdens erleidet, 0,1 von dem Volumen des Wassers bei 0°. Nach Plücker und Geißler beträgt sie nur 0,087, nach Thomson 0,09.

Die Contraction des Eises beim Schmelzen und die Ausdehnung des Wassers bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 100° sind in Fig. 481 graphisch dargestellt.

Fig. 481.



Die bei der Eisbildung stattfindende Raumvergrößerung geht mit solcher Gewalt vor sich, daß vollständig mit Wasser gefüllte und wohl verschlossene Gefäße in Folge der Eisbildung bersten. Die Akademiker von Florenz stellten diesen Versuch mit kupfernen Kugeln an. Selbst eiserne Bombenkugeln hat man auf diese Weise auseinander getrieben.

Ausdehnung gasförmiger Körper. Da die Wärme ein Agens ist, 184
welches die Körper ausdehnt, also die Theilchen weiter von einander entfernt, so wirkt sie offenbar der Cohäsionskraft entgegen. Nun aber ist die Cohäsionskraft bei festen Körpern am stärksten, die ausdehnende Kraft der Wärme wird also bei festen Körpern den größten Widerstand zu überwinden haben; die festen Körper können also diesem Raisonnement zufolge durch die Wärme nicht so stark ausgedehnt werden als flüssige und gasförmige. Die Erfahrung bestätigt dies vollkommen. Wir können aber weiter schließen, daß, da die Cohäsionskraft, welche die Theilchen verschiedener fester Körper zusammenhält, nicht gleich ist, verschiedene feste Körper sich ungleich ausdehnen werden. Bei hohen Temperaturen sind die Theilchen der festen Körper schon weiter von einander entfernt als bei niedrigen, bei hohen Temperaturen setzt also die Cohäsionskraft einer ferneren Ausdehnung auch einen geringeren Widerstand entgegen; bei hohen Temperaturen wird also der Ausdehnungscoëfficient eines und desselben festen Körpers größer sein müssen als bei niedrigen. Auch dies wird durch die

Erfahrung bestätigt. Ueberträgt man diese Schlüsse auf Flüssigkeiten, so folgt, daß verschiedene Flüssigkeiten verschiedene Ausdehnungscoëfficienten haben werden, und daß dieselbe Flüssigkeit sich bei höheren Temperaturen verhältnißmäßig mehr ausdehnen werde als bei niedrigen, was auch, wie wir beim Quecksilber, Weingeist und Wasser gesehen haben, der Fall ist.

Bei gasförmigen Körpern ist die Wirkung der Cohäsionskraft auf die einzelnen Theilchen gleich Null, die Cohäsionskraft setzt also der ausdehnenden Kraft der Wärme kein Hinderniß mehr entgegen. Daraus ergeben sich mehrere wichtige Folgerungen. Erstens müssen gasförmige Körper durch die Wärme bei Weitem stärker ausgedehnt werden als feste und flüssige, was schon durch die oberflächlichsten Versuche bestätigt wird; zweitens muß aber auch die Ausdehnung durch die Wärme nicht nur für alle Gasarten, sondern auch für alle Temperaturen dieselbe sein, d. h. der Ausdehnungscoëfficient ist derselbe für alle gasförmigen Körper, und alle Gase dehnen sich stets der Zunahme der Temperatur proportional aus.

Die Versuche bestätigen in der That, daß sich alle Gasarten fast in gleichem Verhältnisse ausdehnen; daß aber die Ausdehnung der Gase der Temperaturzunahme proportional ist, läßt sich durch Versuche nicht nachweisen, weil wir ja kein directes Mittel haben, die Temperatur zu messen, und weil wir ja gerade die Ausdehnung selbst zur Temperaturbestimmung benutzen.

Obgleich uns aber hier der directe Beweis durch den Versuch fehlt, so dürfen wir dennoch die gleichmäßige Ausdehnung der Luft um so mehr als wahr ansehen, als alle übrigen Folgerungen des Raisonnements, welche uns endlich zu diesen Schlusse führten, durch alle Versuche vollständig bewahrheitet sind.

Man hatte sich lange vergeblich bemüht, den Ausdehnungscoëfficienten der Luft zu bestimmen; man erhielt stets stark unter sich abweichende Resultate, was darin lag, daß man die angewendete Luft nicht gehörig von Wasserdämpfen befreit hatte, welche, wie wir bald sehen werden, die Resultate wesentlich modificiren. Gay-Lussac war der Erste, welcher constante Resultate erhielt. Nach seinen Bestimmungen ist der Ausdehnungscoëfficient der Luft 0,375, d. h. wenn man Luft von 0° bis auf 100° erwärmt, so dehnt sie sich um 0,375 oder $^3/_8$ ihres Volumens aus, vorausgesetzt, daß der Druck, unter welchem diese Luftmasse steht, sich nicht verändert.

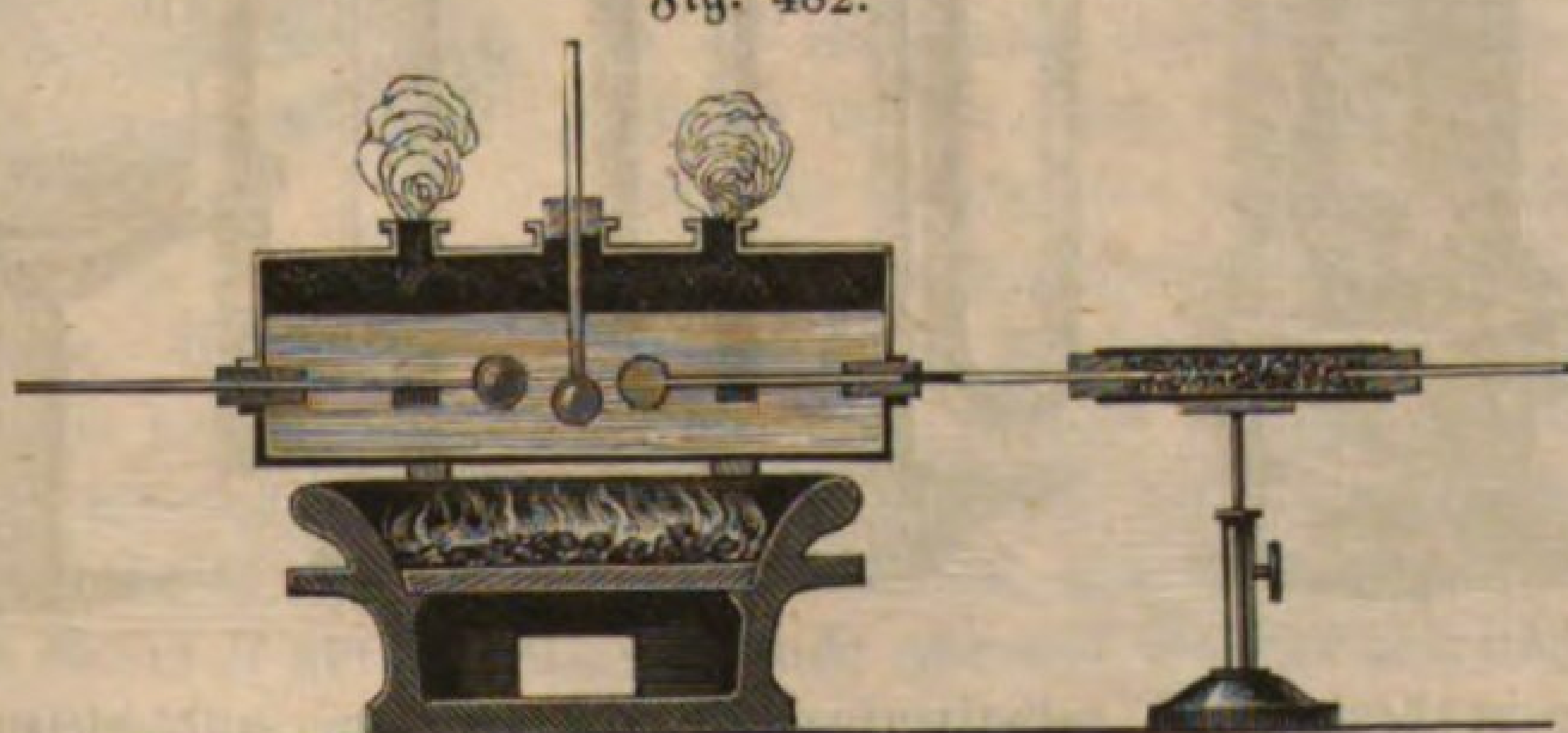
Gay-Lussac bediente sich zu seinen Versuchen einer Glasröhre, welche, ungefähr 30 bis 40^{cm} lang, 1 bis $1{,}5^{mm}$ Durchmesser hatte, und an deren einem Ende eine Kugel von etwa 0,8 bis 1^{cm} Durchmesser angeblasen war. Die Röhre war graduirt und das Verhältniß des Kugelinhalts zum Volumen der durch die Theilstriche auf der Röhre gemachten Abtheilungen derselben genau bestimmt. Man gelangt dazu, indem man erst die Kugel und einen Theil der Röhre mit Quecksilber füllt und das Gewicht des Quecksilbers bestimmt, dann von Neuem Quecksilber zufüllt und abermals wiegt. Aus dem Verhältnisse der gefundenen Gewichte läßt sich dann auf das Verhältniß der Volumina schließen.

Nachdem auf diese Weise der Rauminhalt der Kugel und der Röhre gehörig verglichen sind, muß die Kugel mit **trockener Luft** gefüllt und dafür gesorgt werden, daß alle Feuchtigkeit, welche etwa noch an den Glaswänden anhängt, vollständig entfernt werde. Dies wird dadurch erreicht, daß man Quecksilber in der Röhre sieden läßt, gerade so, wie man beim Füllen eines gewöhnlichen Thermometers verfährt. Ist so die Feuchtigkeit entfernt und die Kugel sammt der Röhre mit Quecksilber angefüllt, so befestigt man am offenen Ende der Röhre ein weiteres Glasrohr, welches mit Stücken von Chlorcalcium gefüllt ist. Bringt man nun die Röhre in die verticale Stellung, so fließt das Quecksilber aus, und Luft tritt statt dessen in die Röhre und die Kugel ein, welche vollkommen trocken ist, weil sie durch die Chlorcalciumstücke hat hindurchstreichen müssen.

Um das Ausfließen des Quecksilbers aus dem etwas engen Rohre zu beschleunigen, steckt man durch die Chlorcalciumröhre hindurch in die Röhre des Luftthermometers einen Eisendraht, den man nur etwas auf- und niederzuschieben nöthig hat, um das Quecksilber herauszubringen. Wenn man so alles Quecksilber bis auf eine geringe Menge aus der Röhre entfernt hat, zieht man den Draht zurück. Die kleine Quecksilbersäule, welche noch zurückbleibt, dient als Index. Es besteht auf diese Weise keine Verbindung zwischen der Luft, welche in der Kugel abgesperrt ist, und der äußeren Luft, und die Röhre kann also ganz offen bleiben. Bringt man nun dies Instrument in eine horizontale Lage, so hat man ein **Luftthermometer**.

Man beobachtet den Theilstrich der Röhre, bei welchem sich der Index feststellt, wenn der Apparat in gestoßenes schmelzendes Eis gebracht wird. Da man weiß, wie vielmal das Volumen einer Röhrenabtheilung in dem Volumen der Kugel enthalten ist, so ist durch diese Beobachtung das Volumen ausgemittelt, welches die abgesperrte trockene Luft bei 0° einnimmt. Nun bringt man das Instrument in einen Kasten, Fig. 482, der mit Wasser gefüllt

Fig. 482.



ist, welches man bis zu einer beliebigen Temperatur t erwärmen kann, und zwar so, daß die Röhre noch aus der Wand des Kastens hervorragt. Die Röhre wird gerade bis zum Index in den Kasten hineingeschoben, damit alle abgesperrte Luft die Temperatur des Bades annehme. Bei dieser Erwärmung dehnt sich die abgesperrte Luft aus, der Index wird weiter von der Kugel fort-

getrieben, und man beobachtet, wo er sich bei irgend einer fixen Temperatur feststellt. Dadurch ist das vergrößerte Volumen bekannt.

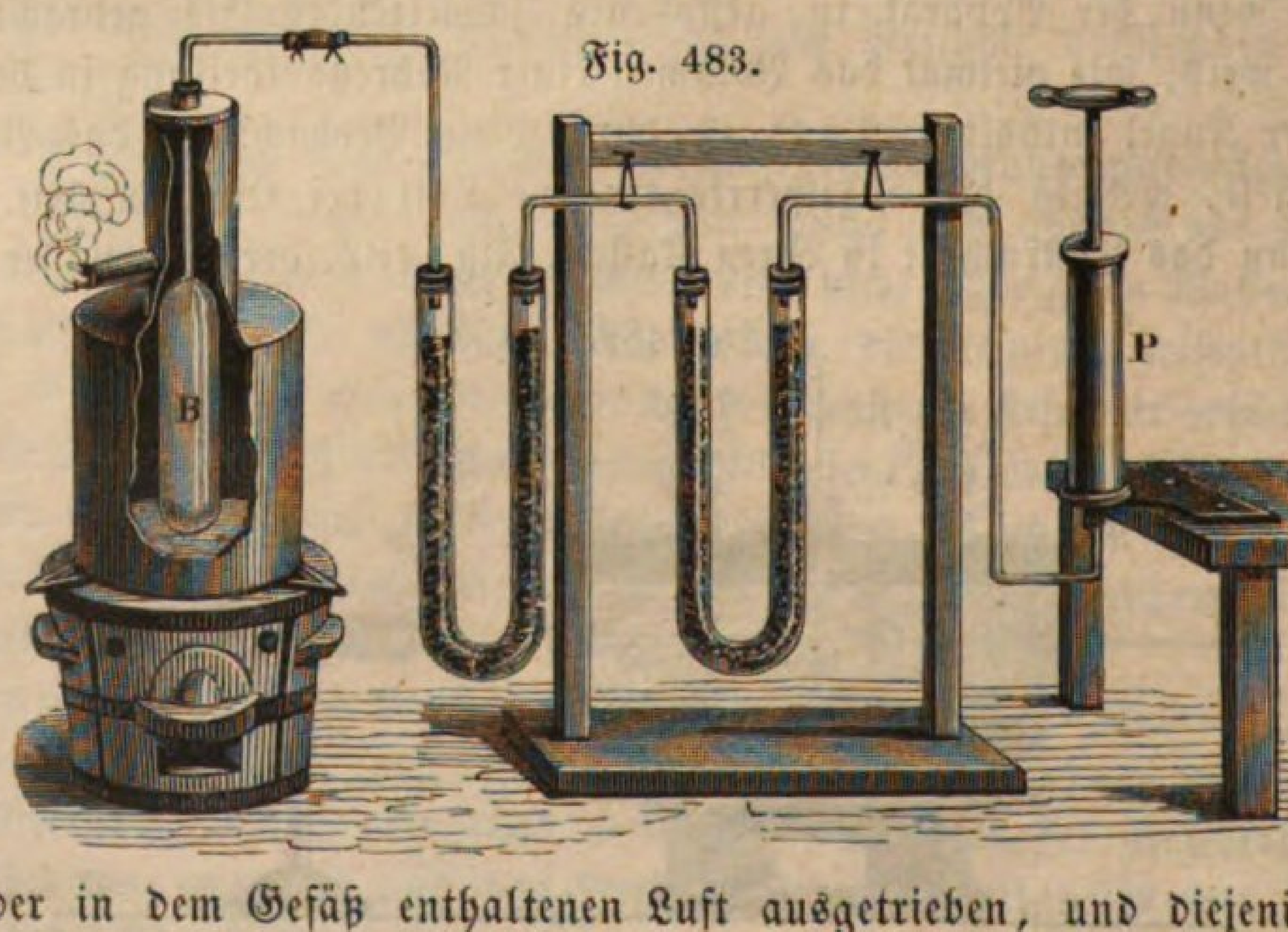
Sollte sich während des Versuchs der Barometerstand geändert haben, so ist diese Veränderung mit in Rechnung zu bringen.

Die cubische Ausdehnung des Glasgefäßes ist auch noch in Rechnung zu bringen. Die Correction, welche dadurch veranlaßt wird, ist jedoch im Vergleich zu der Ausdehnung der Luft höchst unbedeutend. Wenn man den Ausdehnungscoëfficienten der Luft für eine Temperaturerhöhung von 100° ohne Berücksichtigung der Ausdehnung des Glases ermittelt, so hat man zu demselben, um die Vernachlässigung zu corrigiren, noch 0,002 zu addiren.

Mit Berücksichtigung aller Correctionen fand Gay-Lussac für den Ausdehnungscoëfficienten der trockenen Luft sowohl als aller trockenen Gasarten den schon angeführten Werth 0,375. Bei einer Untersuchung, welche Rudberg über die Schmelzpunkte von Zinn, Kadmium und Blei ausführte, drängten sich ihm Zweifel über die Richtigkeit dieser für die Wissenschaft so wichtigen Constanten auf. Er suchte dieselbe nach einer anderen Methode zu bestimmen und fand statt 0,375 die Zahl 0,365.

Rudberg wandte zu seinen Versuchen eine nicht gar lange, mit einem kugelförmigen oder cylindrischen Gefäß von 6 bis 7 Cubikcentimeter Inhalt versehene Thermometerröhre an, welche auf der anderen Seite in eine feine Spitze ausgezogen war. Das Gefäß wird dadurch mit trockener Luft gefüllt, daß man die Spitze der Röhre mittelst eines Korkes in eine Chlorcalciumröhre steckt und sie alsdann durch die Spirituslampe erwärmt. Dadurch wird ein

Fig. 483.

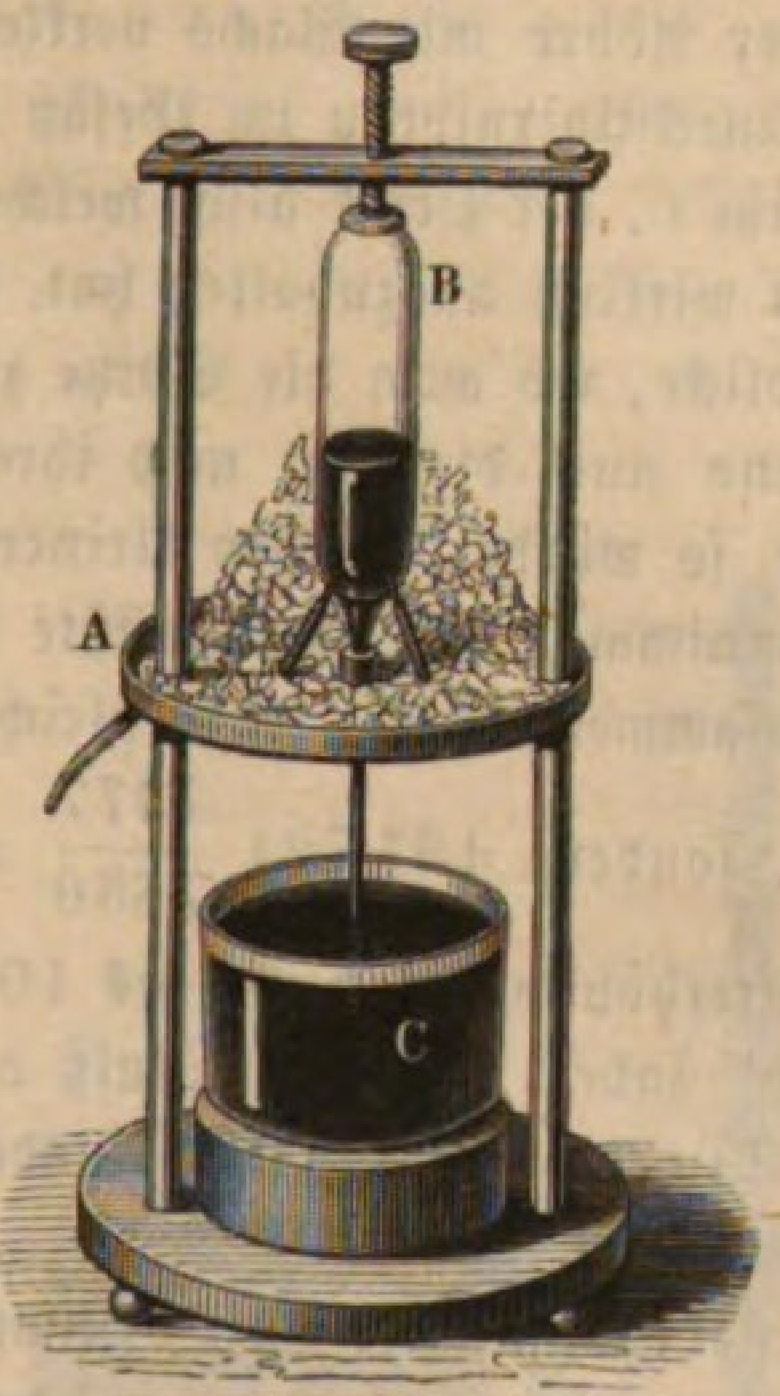


Theil der in dem Gefäß enthaltenen Luft ausgetrieben, und diejenige Luftmenge, welche dafür beim Erkalten der Kugel wieder eintritt, ist vollkommen trocken, weil sie ja erst zwischen den Chlorcalciumstücken hindurchstreichen mußte. Diese Operation wiederholte Rudberg etwa 50 Mal, um auch die letzte Spur von Feuchtigkeit aus der Kugel zu entfernen. Statt dieser Austrocknungsmethode wendete er auch folgende an: Das Glasgefäß wurde, wie

dies Fig. 483 andeutet, mit Chlorcalciumröhren und einer Luftpumpe in Verbindung gebracht, ausgepumpt und dann wieder Luft in die Kugel eingelassen, welche vorher auch durch das Chlorcalcium streichen mußte. Auch diese Operation wurde gegen 50 Mal wiederholt. Die Resultate fielen ganz gleich aus, es mochte nun die eine oder die andere Austrocknungsmethode angewendet worden sein.

Nachdem die Luft im Gefäß *B* vollständig getrocknet war, wurde es in einen Siedeapparat gebracht, d. h. in ein Gefäß von der Art, wie dies Fig. 483 gleichfalls andeutet, so daß das Gefäß und der größte Theil der Röhre von den Dämpfen des siedenden Wassers umgeben war. Nachdem man das Sieden des Wassers fast eine Stunde lang unterhalten hatte, konnte man sicher sein, daß die Luft in der Kugel und in der Röhre wirklich die Temperatur des siedenden Wassers angenommen habe, und nun wurde die Spitze der Röhre zugeschmolzen.

Fig. 484.



Nachdem das Gefäß erkaltet war, wurde es auf ein durch einen besonderen Träger gehaltenes Metallschälchen *A*, Fig. 484, gebracht. Dieses Schälchen hatte ungefähr die Größe und Gestalt eines Uhrglases; es hat in der Mitte eine Oeffnung, durch welche die Röhre hindurchgesteckt wird, so daß die zugeschmolzene Spitze nach unten gerichtet ist. Läßt man die Spitze in ein Gefäß mit Quecksilber eintauchen, so wird, wenn man sie abbricht, das Quecksilber durch die Röhre in das Gefäß eindringen und einen Theil derselben ausfüllen, weil die Luftmenge, welche bei der Siedetemperatur das Gefäß *B* ganz ausfüllte, jetzt einen kleineren Raum einnimmt. Die noch in *B* enthaltene Luft muß aber auf 0° erkaltet werden, und dies geschieht dadurch, daß man schmelzenden Schnee auf das Schälchen bringt. In dem Maße, als der Schnee wegschmilzt, muß neuer nachgebracht werden. War das Gefäß *B* lange genug mit dem schmelzenden Schnee in Berührung, so daß man überzeugt sein kann, sie habe wirklich die Temperatur von 0° angenommen, so wird, um das Ausfließen des Quecksilbers zu verhindern, die Spitze der Röhre noch unter dem Quecksilber mit Wachs verstopft, das Gefäß *B* auf die Wage gebracht und das Gewicht des eingedrungenen Quecksilbers bestimmt (es versteht sich, daß man schon vorher das Gewicht des leeren Gefäßes bestimmt hat). — Wir wollen annehmen, man habe das Gewicht des eingedrungenen Quecksilbers gleich 41,722 Gramme gefunden.

Dieses Quecksilber nimmt den Raum ein, um welchen sich die Luft, welche bei der Siedehitze das Gefäß ausfüllte, beim Erkalten bis auf 0° zusammenzog. Die Röhre wurde nun am Ende so umgebogen, daß sie in ein Schälchen

mit Quecksilber gebracht werden konnte und durch sorgfältiges Auskochen alle Luft entfernt, so daß das Gefäß B beim Erkalten ganz mit Quecksilber gefüllt wurde. Nach dem Erkalten wurde es noch mit Schnee umgeben, so daß es sich mit Quecksilber von 0° füllen mußte. Durch eine abermalige Wägung wird das Gewicht des Quecksilbers bestimmt, welches bei 0° das ganze Gefäß ausfüllt. — Es betrage 173,443 Gramme.

Da nach dem Abbrechen der Spitze 41,722 Gramme Quecksilber eingedrungen waren, während das ganze Gefäß 173,443 Gramme Quecksilber hält, so ist klar, daß die Luft, welche das Gefäß B bei 100° ganz ausfüllte, nachher bei 0° einen Raum ausfüllt, welcher so groß ist, daß ein gleiches Volumen Quecksilber 173,443 — 41,722, also 131,721 Gramme wiegt. Bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° dehnt sich also die Luft im Verhältniß von 131,721 zu 173,443, oder im Verhältniß von 1 zu 1,34 . . . aus.

Diese Zahl ist offenbar zu klein, und dies rührt daher, daß die nöthigen Correctionen wegen des veränderten Luftdrucks noch anzubringen sind.

In dem Moment, in welchem die Spitze der Röhre mit Wachs verklebt wurde, war der Barometerstand 77,58^{cm}, das Quecksilberniveau im Gefäß B stand aber 3,81^{cm} über dem Quecksilber im Gefäße C, der Druck also, welchen die im oberen Theile des Gefäßes abgesperrte Luft wirklich auszuhalten hat, ist gleich $77,58 - 3,81 = 73,77^{cm}$. Im Augenblicke, wo man die Spitze zuschmolz, war der Barometerstand 76,36^{cm}. Wenn nun die Luft nach ihrem Erkalten auf 0° demselben Drucke ausgesetzt wäre, so würde sie einen kleineren Raum einnehmen, als der ist, den sie wirklich einnimmt, und zwar müßte sie sich noch im Verhältniß von 76,36 zu 73,77 zusammenziehen. Ein gleiches Volumen Quecksilber würde also nicht 131,721, sondern $131,721 \frac{7377}{7636} =$ 127,25 Gramme wiegen. Bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° dehnt sich also die Luft, wenn sich der Druck nicht ändert, im Verhältniß von 127,25 zu 173,443, oder im Verhältniß von 1 zu 1,363 aus; der Ausdehnungscoëfficient der Luft wäre demnach 0,363.

Wir haben jedoch hier nur die scheinbare Ausdehnung der Luft bestimmt, indem die Ausdehnung des Glases unberücksichtigt blieb. Um den wahren Ausdehnungscoëfficienten zu finden, müssen wir zu dem eben gefundenen noch den Coëfficienten der cubischen Ausdehnung des Glases hinzuaddiren, welcher, wie wir gesehen haben, 0,0025 ist. Der wahre Ausdehnungscoëfficient der Luft ist demnach 0,3655.

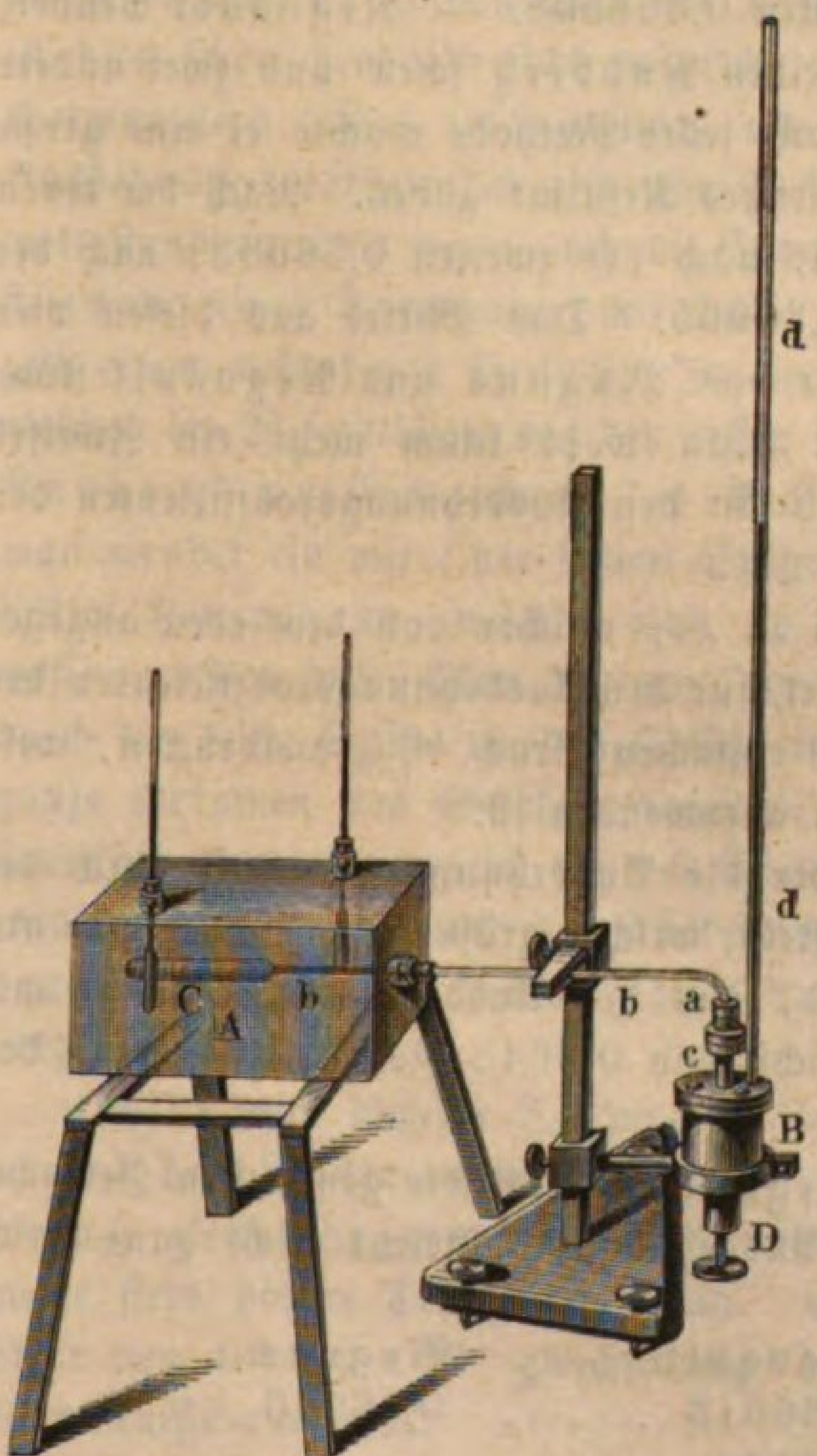
Die bei dieser Berechnung zu Grunde gelegten Data sind den von Rudberg selbst angestellten Beobachtungen entnommen, und zwar sind es diejenigen, welche den größten Werth für den Ausdehnungscoëfficienten der Luft geben. Der kleinste Werth, den er auf diese Weise gefunden hat, ist 0,3636 und das Mittel aus seinen Versuchen 0,3646. (Pogg. Annal. Bd. XLI.)

Die Wichtigkeit des Gegenstandes veranlaßte Rudberg zur Ermittelung des Ausdehnungscoëfficienten eine zweite, auf ein anderes Princip gegründete Versuchsreihe anzustellen; er bestimmte nämlich nur wie viel die Spannkraft

der Luft bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 100° zunimmt, wenn ihr Volum unverändert bleibt. Nach dem Mariotte'schen Gesetz muß nämlich bei unverändertem Volumen die Spannkraft in gleichem Verhältniß zunehmen, in welchem die Luft bei derselben Temperatur sich ausgedehnt hätte, wenn der auf ihr lastende Druck ungeändert geblieben wäre.

Fig. 485 stellt einen nach diesem Princip construirten Apparat dar. Das cylindrische Glasgefäß *C*, von einigen Cubikcentimetern Inhalt, setzt sich in einem feinen Rohre *bb* fort, welches, nachdem *C* mit trockener Luft gefüllt ist, bei *a* luftdicht mit einem weiteren Glasrohre *c* verbunden wird. Das Glasrohr *c* sowohl wie das längere, oben offene Glasrohr *dd*, sind in den Deckel des eisernen Gefäßes *B* eingekittet und gehen bis in das in *B* enthaltene Quecksilber herab. Der Boden des Gefäßes *B* ist beweglich und kann mittelst der Schraube *D* beliebig gehoben oder gesenkt werden.

Fig. 485.



Die Verbindungen zwischen *b* und *c* wird hergestellt, wenn *C* mit trockener Luft von 0° gefüllt ist; alsdann wird die Bodenplatte des Gefäßes *B* gehoben, bis das Quecksilber im Rohre *c* bis zu einer an dieser Röhre angebrachten Marke gestiegen ist (während natürlich *C* stets auf 0° erhalten wird) und dann abgelesen, wie hoch der Gipfel des Quecksilbers im Rohre *d* über der Marke bei *c* steht. Bezeichnen wir mit *b* den gerade herrschenden Barometerstand, mit *h* die mittelst eines Kathetometers gemessene Höhendifferenz der beiden Quecksilberkuppen in *c* und *d*, so ist der Druck, welchen die in *C* eingeschlossene Luft von 0° auszuhalten hat, gleich $b + h$.

Wird nun das Wasserbad, in welchem *C* sich befindet, erwärmt, so hat die eingeschlossene Luft ein Bestreben, sich auszudehnen. Wenn nun aber die Ausdehnung der Luft dadurch verhindert wird, daß man den Boden des Gefäßes *B* in die Höhe schraubt und zwar so, daß die Quecksilberkuppe in *c* stets bei der Marke bleibt, so wird die Quecksilberkuppe in *d* fortwährend steigen. Nehmen wir nun an, die Höhendifferenz zwischen den Quecksilberkuppen in *c* und *d* sei gleich *h'* geworden, während die stets

auf gleichem Volum erhaltene Luft in C von 0° bis auf 100° erwärmt worden ist, so ist die Spannkraft der eingeschlossenen Luft in Folge dieser Temperaturerhöhung im Verhältniß von $b + h$ zu $b + h'$ gewachsen und in diesem Verhältniß würde sich auch die eingeschlossene Luft ausgedehnt haben, wenn sie sich bei constantem Druck hätte ausdehnen können.

Nach dieser Methode fand Rudberg als Mittel aus mehreren wenig von einander abweichenden Versuchen den Ausdehnungscoëfficient der Luft gleich 0,36457.

Magnus und Regnault haben gleichfalls den Ausdehnungscoëfficienten der Luft durch eine Reihe sehr genauer Versuche bestimmt. Beide haben ganz unabhängig gearbeitet, Keiner wußte, daß der Andere gleichzeitig mit derselben Untersuchung beschäftigt sei. Nach der ersten der beiden Rudberg'schen Methoden erhielt Magnus keine constanten Resultate, nach der zweiten aber war der größte Werth, den er für den Coëfficienten fand, 0,367899, der kleinste 0,365032, das Mittel aus allen 0,366508. — Regnault wendete vier verschiedene Methoden an, die beiden Rudberg'schen und zwei andere auf gleichen Principien beruhende. Nach jeder Methode machte er eine große Menge von Versuchen, die ein fast gleiches Resultat gaben. Nach der einen Methode fand er als Mittel 0,36629, nach der zweiten 0,36633, nach der dritten 0,36678, nach der vierten 0,36665. Das Mittel aus diesen vier Werthen ist 0,3665. Die Endresultate von Magnus und Regnault stimmen vollkommen überein, und somit kann wohl kaum mehr ein Zweifel bleiben, daß 0,3665 der wahre Werth für den Ausdehnungscoëfficienten der Luft ist.

Nimmt man den Werth 0,36666 . . . ., welcher von dem eben angegebenen Mittel nur um 0,000166 differirt, für den Ausdehnungscoëfficienten der Luft, so kann man ihn durch den sehr einfachen Bruch $^{11}/_{30}$ ausdrücken, welcher in vielen Rechnungen sehr bequem anzuwenden ist.

Regnault hat die Versuche über die Ausdehnung der Luft durch die Wärme auch bei einem Luftdrucke angestellt, welcher größer und kleiner war als der Druck der Atmosphäre, und fand, daß der Ausdehnungscoëfficient mit wachsendem Drucke größer wird; er wächst von 0,3648 bis 0,3709, wenn der Druck von 110^{mm} bis 3655^{mm} steigt.

Ebenso fanden Magnus und Regnault durch die genauesten Versuche, daß auch für verschiedene Gase der Ausdehnungscoëfficient nicht ganz gleich ist; es fanden für

	Regnault.	Magnus.
Wasserstoffgas	0,36613 . . .	0,36556
Kohlenoxydgas	0,36688	
Kohlensäure	0,37099 . . .	0,36909
Stickstoffoxydulgas . .	0,37195	
Cyangas	0,38767	
Schweflige Säure . . .	0,39028	0,38562.

Die Versuche beider Physiker thun dar, daß der Ausdehnungscoëfficient

derjenigen Gase, welche zu Flüssigkeiten comprimirbar sind, größer ist als der der Luft, und zwar um so größer, je leichter sie flüssig werden.

Somit weisen diese Versuche nach, daß die früher als allgemein wahr angenommenen Sätze, daß der Ausdehnungscoëfficient für alle Gase und unter jedem Drucke gleich sei, nicht ganz streng wahr ist. Deshalb aber müssen die Gesetze, wie Regnault sehr richtig bemerkt, nicht aus der Wissenschaft verbannt werden; sie gelten für einen vollkommenen Gaszustand, dem sich die Gase, welche uns die Natur liefert, bald mehr, bald weniger nähern, je nachdem sie bei der Temperatur und dem Drucke, welchem sie ausgesetzt sind, dem Punkte des Ueberganges in einen anderen Aggregatzustand näher oder ferner liegen.

Ist einmal der Ausdehnungscoëfficient der Luft bekannt, so kann man die Ausdehnung der Luft selbst benutzen, um Temperaturen zu bestimmen. Ein Luftthermometer läßt sich nicht füglich wie ein gewöhnliches Quecksilberthermometer einrichten, so daß man die Temperatur unmittelbar ablesen kann. Es ist dies schon deshalb nicht möglich, weil der Stand eines graduirten Luftthermometers (eines solchen etwa, wie es Gay-Lussac zur Bestimmung des Ausdehnungscoëfficienten anwendete) sich schon ändert, sobald nur der Barometerstand variirt, wenn auch die Temperatur dieselbe geblieben ist. Die Bestimmung einer Temperatur mit Hülfe eines Luftthermometers erfordert jederzeit einen besonderen Versuch. In der Regel wendet man ein Verfahren an, welches im Wesentlichen mit der ersten der beiden Methoden übereinstimmt, die Rudberg zur Ermittelung des Ausdehnungscoëfficienten anwendete, d. h. man wendet ein mit einer feinen Spitze versehenes und mit trockener Luft gefülltes Reservoir an, welches man an den Ort bringt, dessen Temperatur gemessen werden soll. Man bestimmt die Quecksilbermenge, welche beim Erkalten durch die feine Spitze in das Gefäß eindringt, alsdann diejenige, welche das ganze Volumen des Gefäßes ausfüllt. Aus dem Verhältnisse dieser beiden Quecksilbermengen ergiebt sich der Temperaturunterschied. Hier ist die Temperaturdifferenz gesucht und der Ausdehnungscoëfficient bekannt, während Rudberg bei seinen Versuchen umgekehrt diesen Coëfficienten suchte, aber die Temperaturdifferenz kannte.

Wenn man dieselbe Temperatur gleichzeitig mit dem Quecksilberthermometer und dem Luftthermometer mißt, so erhält man zwischen 0° und 100° vollkommen gleiche Angaben; über 100° hinaus aber giebt das Quecksilberthermometer stets höhere Temperaturen an. Es folgt daraus, daß sich das Quecksilber von 0° bis 100° gleichförmig, von 100° an aber in einem stärkeren Verhältnisse ausdehnt.

Nach den Versuchen von Dulong und Petit sind folgende mit dem Luft- und dem Quecksilberthermometer gemessenen Temperaturen identisch:

Luftthermometer	100,	197,	293
Quecksilberthermometer .	100,	200,	300.

Nach Rudberg sind folgende die entsprechenden Temperaturen beider Thermometer:

Luftthermometer . . .	100,	198,8	294,7
Quecksilberthermometer .	100,	200,	300.

Nach Magnus:

Luftthermometer . . .	100,	197,5	294,5
Quecksilberthermometer .	100,	200,	300.

Nach den schon oben angeführten Versuchen von Regnault gelten die für ein Quecksilberthermometer erhaltenen Resultate nicht für jedes andere, weil sie aufhören, bei höheren Temperaturen vergleichbar zu sein, wenn sie aus verschiedenen Glassorten gemacht sind. Bei genauen Versuchen sollte man deshalb die Bestimmung höherer Temperaturen stets mit dem Luftthermometer machen, da bei dessen Angaben, wegen der Größe der Ausdehnung der Luft, die Fehler verschwinden, welche durch die Unregelmäßigkeiten und die Ausdehnung der Glashülle veranlaßt werden.

Bei dem, was oben über das specifische Gewicht der Körper gesagt wurde, war der Einfluß der Wärme ganz außer Acht gelassen worden. Bei festen und flüssigen Körpern ist auch in der That die Ausdehnung innerhalb der Temperaturgrenzen, zwischen welchen man die zur Bestimmung der Dichtigkeit nöthigen Operationen vornimmt, so gering, daß man, wo nicht größere Genauigkeit nöthig ist, den Wärmeeinfluß ganz vernachlässigen kann.

Auf die Dichtigkeit der Gase aber hat die Wärme einen so bedeutenden Einfluß, daß man ohne ihre Berücksichtigung nicht einmal angenähert richtige Resultate erhält. Aus diesem Grunde kann erst hier von der Bestimmung der Dichtigkeit der Gase die Rede sein.

185 **Dichtigkeit der Luft.** Um die Dichtigkeit der Luft zu bestimmen, wendet man einen Ballon von 8 bis 10 Liter Inhalt an, welcher mit einer Fassung versehen ist, die man auf eine Luftpumpe schrauben, und in welcher sich ein Hahn befindet, den man schließen kann, wenn man evacuirt hat (Fig. 486). Die Capacität eines solchen Ballons findet man am besten dadurch, daß man genau das Gewicht des Wassers ausmittelt, welches er faßt. Gesetzt, ein solcher Ballon, dessen Inhalt gerade 10 Liter beträgt, wiege, mit trockener Luft gefüllt, 12,99 Gramme mehr, als wenn er luftleer gemacht ist, so würde daraus folgen, daß das specifische Gewicht der Luft 0,001299 ist; denn 10 Liter Wasser wiegen ja 10 Kilogr., oder, was dasselbe ist, 10000 Gramme.

Fig. 486.



$\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{15}$

Ein solches Resultat würde der Versuch jedoch nur dann geben, wenn er bei einer Temperatur von 0^0 und bei einem Barometerstande von 760^{mm} angestellt worden wäre, und wenn man den Ballon wirklich absolut luftleer gemacht hätte. Wenn aber diese Bedingungen nicht erfüllt sind, so läßt sich dies Resultat aus den Beobachtungen ableiten.

Nehmen wir an, ein Ballon von 10 Liter Inhalt wiege bei einer Temperatur von 18° C. und bei einem Barometerstande von 754^{mm} 12,01 Gr. mehr, als wenn er so weit leer gepumpt ist, daß die Barometerprobe nur noch 5^{mm} zeigt. In dem Ballon sind nach dem Auspumpen noch $\frac{5}{754}$ des ursprünglichen Luftgehalts zurück geblieben, $\frac{749}{754}$ oder 0,9934 der Luft, welche vor dem Auspumpen den Ballon füllte, ist ausgepumpt, und diese ausgepumpte Luft wiegt 12,01 Gramme. Die ausgepumpte Luftmenge aber verhält sich zu der Menge der gesammten Luft im Ballon offenbar wie 0,9934 zu 1, und daraus ergiebt sich dann, daß das Gewicht der Luft, welche bei 18° C. und einem Barometerstande von 754^{mm} den Ballon füllt, 12,09 Gramme wiegt; es waren also nach dem Auspumpen noch 0,08 Gramme Luft im Ballon zurückgeblieben.

Wenn bei übrigens unveränderten Umständen der Barometerstand nicht 754, sondern 760^{mm} betragen hätte, so würde das Gewicht der im Ballon enthaltenen Luft im Verhältniß von 754 zu 760 mehr betragen haben; bei 18° C. und einem Barometerstande von 760^{mm} wiegt demnach die in unserem Ballon enthaltene Luft $12{,}09 \frac{760}{754} = 12{,}19$ Gramme.

Nun bleibt nur noch übrig, auf 0° zu reduciren, d. h. zu berechnen, wie viel die Luft im Ballon wiegen würde, wenn die Temperatur von 18° auf 0° fiele. Bei einer Temperaturerhöhung von 0° auf 18° dehnt sich die Luft im Verhältniß von 1 zu $1 + 0{,}00366 \,.\, 18$, d. h. im Verhältniß von 1 zu 1,0659 aus; bei einer Temperaturerniedrigung von 18° zu 0° wird also die Luft im Verhältniß von 1 : 1,0659 dichter; wir finden also das Gewicht der Luft, welche den Ballon bei 760^{mm} Barometerstand und einer Temperatur von 0° füllt, wenn wir die Zahl 12,19 mit 1,0659 multipliciren; es ergiebt sich bei Ausführung der Rechnung 12,99 für die gesuchte Zahl. Ein Cubikcentimeter Luft wiegt demnach bei 0° und 760^{mm} Barometerstand 0,001299 Gramme; unter diesen Umständen ist also die Dichtigkeit der Luft 770mal geringer als die des Wassers.

Ist einmal die Dichtigkeit der Luft für 0° bekannt, so kann man sie für jede andere Temperatur berechnen, oder, mit anderen Worten, wenn man weiß, wie viel ein Cubikcentimeter Luft bei 0° wiegt, so kann man berechnen, wie viel es bei jeder anderen Temperatur wiegen muß. Wenn der Barometerstand sich nicht ändert, so dehnt sich die Luft für eine Temperaturerhöhung von 0° bis t^0 im Verhältniß von 1 zu $1 + 0{,}00366\, t$ aus; ihre Dichtigkeit nimmt also bei dieser Temperaturerhöhung im Verhältniß von $1 + 0{,}00366\, t$ zu 1 ab. Wenn also bei 0° ein Cubikcentimeter Luft 0,001299 Gr. wiegt, so wird dasselbe Volumen Luft bei t Grad $\frac{0{,}001299}{1 + 0{,}00366\, t}$ Gramme wiegen. Auf diese Weise ist die folgende Tabelle berechnet, welche das Gewicht n von 1 Cubikcentimeter trockener Luft für einen Barometerstand von 760^{mm} und die von

10 zu 10° fortschreitenden Temperaturen von 0° bis 290° in Milligrammen ausgedrückt enthält.

t	*n*	*t*	*n*	*t*	*n*
0	1,299mg	100	0,953mg	200	0,751mg
10	1,253	110	0,927	210	0,735
20	1,211	120	0,903	220	0,720
30	1,171	130	0,881	230	0,706
40	1,134	140	0,860	240	0,692
50	1,099	150	0,839	250	0,680
60	1,066	160	0,820	260	0,667
70	1,035	170	0,802	270	0,654
80	1,006	180	0,784	280	0,642
90	0,978	190	0,767	290	0,631

186 **Dichtigkeit der Gase.** Wenn man die Dichtigkeit irgend eines Gases bei der Temperatur von 0° und einem Drucke von 760mm mit d bezeichnet, mit d' aber die Dichtigkeit desselben Gases bei einer Temperatur von t^0 und einem Drucke h, so ist es leicht, die Beziehung zu finden, welche zwischen den beiden Tensionen, den beiden Temperaturen und den beiden Dichtigkeiten stattfindet. Wenn bei unverändertem Drucke die Temperatur von 0° auf t^0 steigt, wird 1 Cubikcentimeter Gas sich bis zu $1 + 0{,}00366\, t$ ausdehnen; wenn außerdem noch der Druck von 760mm in h übergeht, so wird das Volumen jener Gasmenge

$$\frac{(1 + 0{,}00366\, t)\, 760}{h}.$$

Die Dichtigkeit des Gases in beiden Fällen verhält sich aber umgekehrt wie die Volumina, also

$$\frac{d'}{d} = \frac{h}{760\,(1 + 0{,}00366\, t)}.$$

Es folgt daraus, daß die Dichtigkeiten zweier verschiedener Gase stets in demselben Verhältnisse zu einander stehen, so lange beide gleiche Temperaturen haben und gleichem Drucke ausgesetzt sind. Bei der Temperatur der Rothglühhitze also, wie bei 0°, bei einem Drucke von 10 Atmosphären wie bei dem einer einzigen, wird die Dichtigkeit des Wasserstoffgases immer 0,0688, also ungefähr $^1/_{15}$ von der Dichtigkeit der in gleichen Verhältnissen sich befindenden Luft sein. Es bleibt dies so lange wahr, als die Gase dem Mariotte'schen Gesetze folgen.

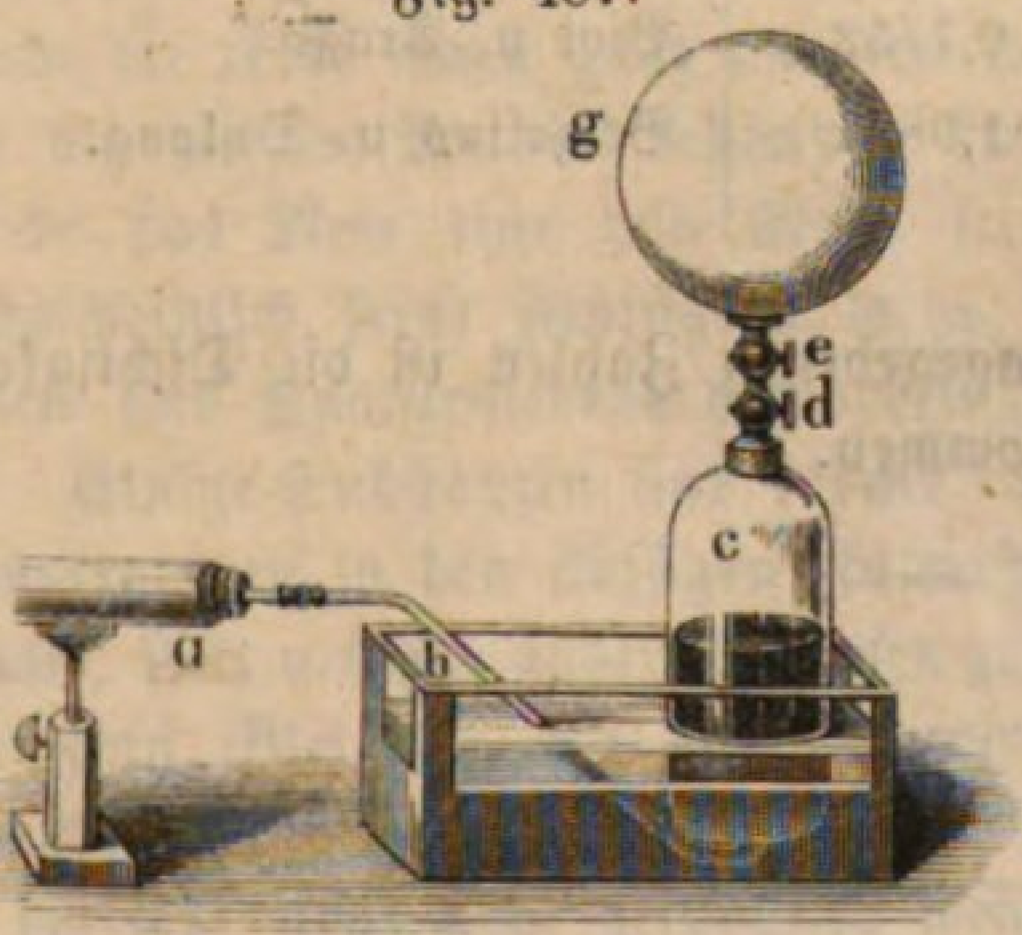
Dies giebt nun auch ein Mittel an die Hand, um die Dichtigkeit von Gasen zu bestimmen; man vergleicht nur ihr Gewicht mit dem Gewichte eines gleichen Volumens Luft von derselben Tension und derselben Temperatur.

Es sei z. B. das Gewicht eines Ballons mit trockener Luft	= 192 Gramme
Gewicht des ausgepumpten Ballons	= 181 »
Gewicht der ausgepumpten Luft	= 11 Gramme.
Es sei ferner das Gewicht des mit kohlensaurem Gase gefüllten Ballons	= 197,77 Gr.
Davon abgezogen das Gewicht des leeren Ballons .	= 181 »
Bleibt für das Gewicht des kohlensauren Gases, welches der Ballon faßt	= 16,77 Gr.

Die Dichtigkeit des kohlensauren Gases ist demnach $\frac{16,77}{11}$, oder 1,524, wenn die der Luft = 1 ist. Dies Resultat bedarf durchaus keiner Correction wegen der Wärme und des Drucks, vorausgesetzt, daß die Luft und das kohlensaure Gas den Ballon bei gleichem Barometerstande füllten und vollkommen gleiche Temperatur hatten.

Um einen Ballon mit verschiedenen Gasarten zu füllen, wendet man eine Glocke *c* an, welche oben mit einem Hahne *d*, Fig. 487, versehen ist. Die Glocke wird auf Quecksilber gesetzt, der Hahn *d* geöffnet und darüber eine Handluftpumpe aufgeschraubt, mittelst welcher man die Glocke luftleer machen kann. Je mehr man evacuirt, desto mehr steigt das Quecksilber in der Glocke; wenn sie ganz mit Quecksilber gefüllt ist, wird der Hahn *d* geschlossen, die Luftpumpe ab- und statt deren ein evacuirter Ballon *g* aufgeschraubt. Man läßt nun das entwickelte Gas durch ein Chlorcalciumrohr *a* und die gebogene Glasröhre *b* in die Glocke *c* treten. Wenn die Glocke *c* mit Gas gefüllt ist, öffnet man die Hähne *d* und *e*, das Gas verbreitet sich in den Ballon, zugleich aber steigt das Quecksilber in *c* wieder in die Höhe. Sobald es in den oberen Theil von *c* gestiegen ist, schließt man wieder einen der Hähne, bis sich die Glocke *c* von Neuem mit Gas gefüllt hat. Später kann man beide Hähne fortwährend offen lassen. Man fährt mit der Gasentwickelung so lange fort, bis die Kugel und die Glocke ganz mit Gas gefüllt sind und der Quecksilberspiegel in und außer der Glocke gleich hoch steht. Sobald dies der Fall ist, schließt man den Hahn *e* und schraubt den Ballon ab, um ihn zu wiegen.

Fig. 487.



$\frac{1}{15}$

In der folgenden Tabelle findet man die Dichtigkeit der wichtigsten Gasarten nach den besten Beobachtungen:

Namen der Gase.	Beobachtete Dichtigkeit.	Gewicht von 1 Liter bei 0° u. 760mm Druck in Grammen.	Namen der Beobachter.
Jodwasserstoffgas . .	4,4288	5,7719	Gay-Lussac.
Chlor	2,4216	3,2088	Gay-Lussac u. Thénard.
Schweflige Säure .	2,1930	2,8489	H. Davy.
Cyangas	1,8197	2,3467	Gay-Lussac.
Stickoxydulgas . . .	1,5269	1,9752	Colin.
Kohlensäure	1,5245	1,9805	Berzelius u. Dulong.
Chlorwasserstoff . . .	1,2474	1,6205	Biot u. Arago.
Schwefelwasserstoff .	1,1912	1,5475	Gay-Lussac u. Thénard.
Sauerstoff	1,1026	1,4323	Berzelius u. Dulong.
Stickoxydgas	1,0388	1,3495	Bérard.
Stickgas	0,9757	1,2675	Berzelius u. Dulong.
Kohlenoxydgas . . .	0,9769	1,2431	Cruikshank.
Ammoniakgas . . .	0,5967	0,7752	Biot u. Arago.
Wasserstoffgas . . .	0,0688	1,0894	Berzelius u. Dulong.

Bei den in der zweiten Columne angegebenen Zahlen ist die Dichtigkeit der atmosphärischen Luft zur Einheit genommen.

Zweites Capitel.

Veränderung des Aggregatzustandes.

Schmelzen. Die meisten festen Körper werden durch gesteigerte Temperatur geschmolzen, d. h. aus dem festen in den flüssigen Zustand übergeführt. Ob also ein Körper fest oder flüssig ist, hängt einzig und allein von seiner Temperatur ab. In einer anderen Entfernung von der Sonne würde die Erde einen ganz anderen Anblick darbieten; in größerer Nähe würden die meisten Metalle beständig flüssig, in größerer Entfernung hingegen würde das Meer eine feste Masse sein, es gäbe kein fließendes Wasser und wahrscheinlich keine Flüssigkeit mehr, deren Circulation die Phänomene des Thier- und Pflanzenlebens hervorbringt. 187

Einige Substanzen sind leicht schmelzbar und gehen schon bei niedrigen Temperaturen in den flüssigen Zustand über, z. B. Eis, Phosphor, Schwefel, Wachs, Fett u. s. w.; andere bedürfen zum Schmelzen schon höherer Temperaturen, wie Zinn, Blei u. s. w.; endlich giebt es Körper, welche erst bei sehr hohen Temperaturen schmelzen, wie Gold, Eisen, Platin. Die Kohle zu schmelzen, ist bis jetzt noch nicht gelungen, wenngleich mehrere Physiker behaupten, an den Kanten von Diamanten, die sie dem Versuche unterworfen hatten, Spuren von Schmelzung bemerkt zu haben.

Es ist wahrscheinlich, daß bei hinlänglich gesteigerter Temperatur alle Körper zum Schmelzen gebracht werden könnten, vorausgesetzt, daß sie nicht schon vorher durch die Hitze chemisch zerlegt werden, wie dies z. B. bei vielen organischen Körpern der Fall ist.

Wenn ein Körper aus dem festen in den flüssigen Zustand übergeht, beobachtet man zwei merkwürdige Phänomene. Erstens findet der Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand für jede Substanz stets bei derselben Temperatur statt, d. h. jede Substanz hat einen bestimmten Schmelzpunkt; und zweitens ändert sich während des Schmelzens die Temperatur nicht, wie

viel Wärme auch in den Körper eindringen mag. Es wird also beim Schmelzen Wärme absorbirt, welche sich gleichsam im Körper versteckt, ohne auf das Gefühl oder das Thermometer weiter zu wirken.

Die folgende Tabelle enthält die Schmelzpunkte verschiedener Substanzen.

Gehämmertes englisches Eisen	1600	Grad C.
Weiches französisches Eisen	1500	»
Der strengflüssigste Stahl	1400	»
Der leichtflüssigste Stahl	1300	»
Graues Gußeisen, zweite Schmelzung	1200	»
Leichtflüssiges weißes Gußeisen	1050	»
Gold	1250	»
Silber	1000	»
Bronze	900	»
Antimon	432	»
Zink	360	»
Blei	334	«
Wismuth	256	»
Zinn	230	»
Legirung aus 5 Theilen Zinn, 1 Blei	194	»
Schwefel	109	»
Legirung aus 8 Wismuth, 5 Blei, 3 Zinn	100	»
» » 4 Wismuth, 1 Blei, 1 Zinn	94	»
Natrium	90	»
Kalium	58	»
Phosphor	43	»
Stearinsäure	70	»
Weißes Wachs	68	»
Gelbes Wachs	61	»
Stearin	49 bis 43	Grad
Wallrath	49	Grad
Essigsäure	45	»
Seife	33	»
Eis	0	»
Terpentinöl	—10	»
Quecksilber	—39	»

Eine aufmerksame Beobachtung dieser Tabelle zeigt die merkwürdige Thatsache, daß der Schmelzpunkt von Legirungen meist tiefer liegt als der Schmelzpunkt der einzelnen Metalle, aus welchen sie bestehen. So schmilzt eine Legirung von 5 Theilen Zinn und 1 Theil Blei schon bei 194°, während der Schmelzpunkt des Bleis 334°, der des Zinns 230° beträgt. Am auffallendsten zeigt sich diese Erscheinung beim Rose'schen Metall, einer Legirung, welche aus 4 Gewichtstheilen Wismuth, 1 Gewichtstheil Blei und 1 Gewichtstheil Zinn besteht; der Schmelzpunkt desselben liegt bei 94° C., also noch

unter dem Siedepunkte des Wassers und noch weit unter dem Schmelzpunkte des leichtflüssigsten der drei Bestandtheile.

In der Technik wird von den leichtflüssigen Legirungen vielfach Gebrauch gemacht; so ist z. B. das Schnellloth, mit welchem die Blechner das Weißblech löthen, eine Legirung von 2 Theilen Blei und 1 Theil Zinn.

Rudberg hat interessante Beobachtungen über das Festwerden geschmolzener Legirungen von Blei und Zinn, Zinn und Wismuth, Zinn und Zink, Zink und Wismuth gemacht. Werden z. B. Zinn und Blei in irgend einem Verhältniß zusammengeschmolzen, ein Thermometer hineingesenkt und die Erkaltungszeit mit dem Sinken des Thermometers verglichen, so findet man, daß das Thermometer auf einem gewissen Punkte stationär bleibt, ohne daß noch das Metall sichtbar zu erstarren anfängt, daß es darauf weiter sinkt und zum zweiten Male stationär bleibt, wenn die ganze Masse erstarrt. Rudberg fand, daß dieser letztere Punkt auf denselben Thermometergrad fällt, in welchem Verhältniß die Metalle auch gemischt sind, daß aber der andere variirt und bei dem Zusatze des schon vorherrschenden Metalls höher wird, und umgekehrt. Daher nennt er den ersteren Punkt den beständigen, den letzteren den veränderlichen.

Den Erstarrungspunkt des Zinns fand Rudberg bei 228°, den des Bleies bei 325°. Der beständige Punkt, wobei eine Legirung beider erstarrt, ist 187°; allein für eine Legirung von 3 Aeq. Blei und 1 Aeq. Zinn ist der erste am Thermometer stationäre, also der veränderliche Punkt 280°. Je mehr Zinn man nun der Legirung zusetzt, desto tiefer sinkt der veränderliche Punkt, er ist 200° für eine Mischung von 1 Aeq. Blei und 2 Aeq. Zinn. Bei einer Legirung von 1 Aeq. Blei und 3 Aeq. Zinn fehlt der veränderliche Punkt ganz, und es findet sich nur der feste Erstarrungspunkt von 187°. Wenn man nun noch mehr Zinn zusetzt, so steigt der veränderliche Punkt wieder.

Aehnliche Erscheinungen beobachtete Rudberg bei den übrigen der erwähnten Legirungen.

Binden der Wärme beim Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand. 188 Im Jahre 1763 hat Black die Absorption der latenten Wärme beim Schmelzen, eine der wichtigsten Fundamentalwahrheiten der Wärmelehre, nachgewiesen. Von diesem Binden der Wärme beim Schmelzen überzeugt man sich am besten, wenn man 1 Pfund Schnee von 0° und 1 Pfund Wasser von 79° mit einander mischt. Der Schnee schmilzt und man erhält 2 Pfund Wasser von 0°. Alle Wärme also, welche in dem heißen Wasser enthalten war, ist für das Thermometer spurlos verschwunden, sie ist lediglich dazu verwendet worden, um Schnee von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln.

Bezeichnen wir die Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Temperatur von einem Gramm Wasser um 1° zu erhöhen, mit 1, so ist also die Wärmemenge, welche bei der Schmelzung von einem Gramm Schnee oder Eis gebunden wird, gleich 79.

Damit der Versuch ein richtiges Resultat liefere, muß er mit einiger

Vorsicht angestellt werden; vor allen Dingen muß die Mischung rasch vor sich gehen, und man muß sie an einem Orte vornehmen, an welchem die Temperatur der Luft 0° oder doch nur wenig von 0° verschieden ist, damit man sicher sein kann, daß nicht Wärme aus der Umgebung eindringt und einen Theil des Schnees schmilzt, oder daß nicht umgekehrt ein Theil der Wärme des Wassers an die kältere Umgebung abgegeben wird. Mit dicken Eisstücken gelingt der Versuch nicht, weil sie dem warmen Wasser nicht Berührungspunkte genug bieten, und weil deshalb die Schmelzung des Eises zu langsam vor sich geht, also jedenfalls ein Theil der Wärme des Wassers an die Umgebung verloren wird.

Nach neueren mit größter Genauigkeit angestellten Versuchen, welche de la Provostaye und Desains über die Schmelzungswärme des Eises angestellt haben, ist 79,25 für die früher nach den calorimetrischen Versuchen von Lavoisier und Laplace angenommene Zahl 75 zu setzen.

Regnault bestätigt die Resultate von Provostaye und Desains. Die von ihm angewandte Methode war im wesentlichen folgende: In einem Raume, dessen Temperatur nicht weit von 0° entfernt war, wurde ein Drahtkörbchen mit Schnee in eine gewogene Menge Wasser von gemessener Temperatur eingetaucht und so lange hin und her bewegt, bis aller Schnee geschmolzen war. Aus der Temperaturerniedrigung, welche dadurch in dem Wasser bewirkt wird, läßt sich dann auf die zum Schmelzen des Schnees verwendete Wärme schließen.

Das Quantum des verwendeten Schnees wurde dadurch bestimmt, daß nach vollendeter Schmelzung desselben eine zweite Wägung des Wassergefäßes vorgenommen wurde.

Bei einem derartigen Versuche wurden z. B. 50,5 Gramme Schnee von — 0,32° C. in 462,2 Gr. Wasser von 16,12° eingetaucht. Nach $1\frac{1}{2}$ Minuten war die Schmelzung vollendet und die Temperatur des Wassers auf 6,78° herabgekommen, also um 9,34° C. erniedrigt.

Bezeichnen wir mit 1 die Wärmemenge, welche nöthig ist um die Temperatur von 1 Gramm Wasser um 1° C. zu erhöhen, so ist die vom Wasser abgegebene Wärmemenge $462{,}2 \,.\, 9{,}34 = 4317$.

Diese Wärme wurde verwendet, um die 50,5 Gramme Schnee zu schmelzen und die Temperatur dieser Masse von — 0,32 auf 6,78°, also um 7,1° zu erhöhen.

Da zu dieser Temperaturerhöhung die Wärmemenge $50{,}5 \times 7{,}1 = 358$ verbraucht wird, so wurde also zur Schmelzung des Schnees die Wärmemenge $4317 - 358 = 3959$ verwendet.

Bezeichnen wir mit x die Wärmemenge, welche bei der Schmelzung von 1 Gramm Schnee verbraucht wird, so haben wir

$$50{,}5\,x = 3959,$$

also

$$x = \frac{3959}{50{,}5} = 78{,}5.$$

Mit Berücksichtigung verschiedener Correctionen, von denen hier nicht die Rede sein kann, berechnete **Regnault** aus den gegebenen Daten die Zahl 79,19 und als Mittel aus vier derartigen Versuchen 79,24.

Aehnliche Versuche mit Eis gaben im Mittel 79,06. (**Poggendorff's** Annalen Bd. LXII, S. 42.)

So wie bei der Schmelzung des Eises und des Schnees Wärme gebunden wird, so ist dies auch beim Schmelzen anderer Körper der Fall. Folgendes sind die Werthe der latenten Wärme für einige Körper nach **Irvine's** Bestimmungen:

Schwefel	80
Blei	90
Wachs	97
Zink	274
Zinn	278
Wismuth	305.

Die Bedeutung dieser Zahlen ist leicht einzusehen; während ein Gramm Schnee zu seiner Schmelzung 79 Wärmeeinheiten, d. h. 79mal so viel Wärme nöthig hat, als erforderlich ist, um die Temperatur von einem Gramm Wasser um 1°C. zu erhöhen, sind zur Schmelzung von einem Gramm Schwefel 80, zur Schmelzung von einem Gramm Blei, Wachs, Zink u. s. w. 90, 97, 274 solcher Wärmeeinheiten nöthig.

Bezeichnen wir mit W die Wärmemenge, welche irgend ein fester Körper bei der Temperatur des Schmelzpunktes enthält, so enthält das gleiche Quantum desselben Stoffes bei derselben Temperatur im flüssigen Zustande die Wärmemenge $W + s$, wenn s die Schmelzungswärme bezeichnet.

Die gesammte Wärmemenge, welche in einem flüssigen Körper enthalten ist, zerfällt also in zwei Theile, von denen der eine, die oben mit s bezeichnete Schmelzungswärme, nur dazu dient, den flüssigen Zustand zu erhalten, ohne auf das Gefühl und das Thermometer zu wirken.

So wie beim Schmelzen eines festen Körpers Wärme gebunden wird, so findet auch eine Wärmebindung Statt, wenn ein fester Körper durch Auflösung in den flüssigen Zustand übergeführt wird.

Diese Wärmemenge kann nun entweder von Außen zugeführt werden, oder wenn dies nicht der Fall ist, so muß ein Theil der bis dahin im Wasser und im Salz enthaltenen fühlbaren Wärme verwendet werden, um die Schmelzung zu bewirken, die Temperatur muß also sinken. Man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man ein fein gepulvertes, leicht lösliches Salz, etwa Salpeter, in Wasser wirft und die Auflösung durch Umrühren befördert; die Temperatur des Wassers wird dabei um einige Grade sinken.

Wenn Schnee oder gestoßenes Eis etwa von 0° und Kochsalz von 0° gemengt werden, so verbinden sie sich zu einer flüssigen Salzlösung; dabei sinkt die Temperatur mehr und mehr, weil ja durch das Flüssigwerden zweier vorher fester Körper viel Wärme gebunden wird.

Bezeichnen wir mit W die fühlbare Wärme, welche in dem Schnee von

0° und in dem Salz von 0° enthalten ist, mit *s* die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um das Gemisch in den flüssigen Zustand überzuführen, so ist nach der Schmelzung die noch übrige Wärme nur noch *W* — *s*, vorausgesetzt, daß von Außen gar keine Wärme zugeführt ist, es muß also eine entsprechende Temperaturerniedrigung stattgefunden haben.

Auf diesem Principe beruhen die sogenannten **Kältemischungen**, von denen folgende die bekanntesten sind; die Temperaturerniedrigung, welche man durch sie hervorbringen kann, ist bei jeder angegeben.

Gepulvertes Glaubersalz, mit Salzsäure übergossen . . . . von + 10° bis — 17° C.,

5 Gewichtstheile	Salmiak	von + 10° bis — 12°,
5 »	Salpeter	
19 »	Wasser	
1 »	Kochsalz	von 0° bis — 17,7°,
3 »	Schnee	
3 »	salzsaurer Kalk	von 0° bis — 28°,
2 »	Schnee	
1 »	verdünnte Schwefelsäure	von — 7° bis — 51°.
1 »	Schnee	

Um mit solchen Mischungen bedeutende Kältegrade hervorzubringen, muß man möglichst große Quantitäten, wenigstens 2 bis 3 Pfunde der zu mischenden Substanzen anwenden, und muß die Salze fein pulvern, damit die Auflösung rasch vor sich gehen kann. Das Gefäß, in welchem man die Mischung macht, muß aus schlecht leitenden Substanzen gemacht sein, damit nicht von außen her Wärme zugeführt wird.

Um sehr hohe Kältegrade zu erreichen, muß man die zu mischenden Substanzen selbst vor der Mischung möglichst erkalten.

Die Temperatur von — 17,7°, die man erhält, wenn man 1 Theil Kochsalz mit 3 Theilen Schnee mischt, ist der Nullpunkt des **Fahrenheit'schen** Thermometers.

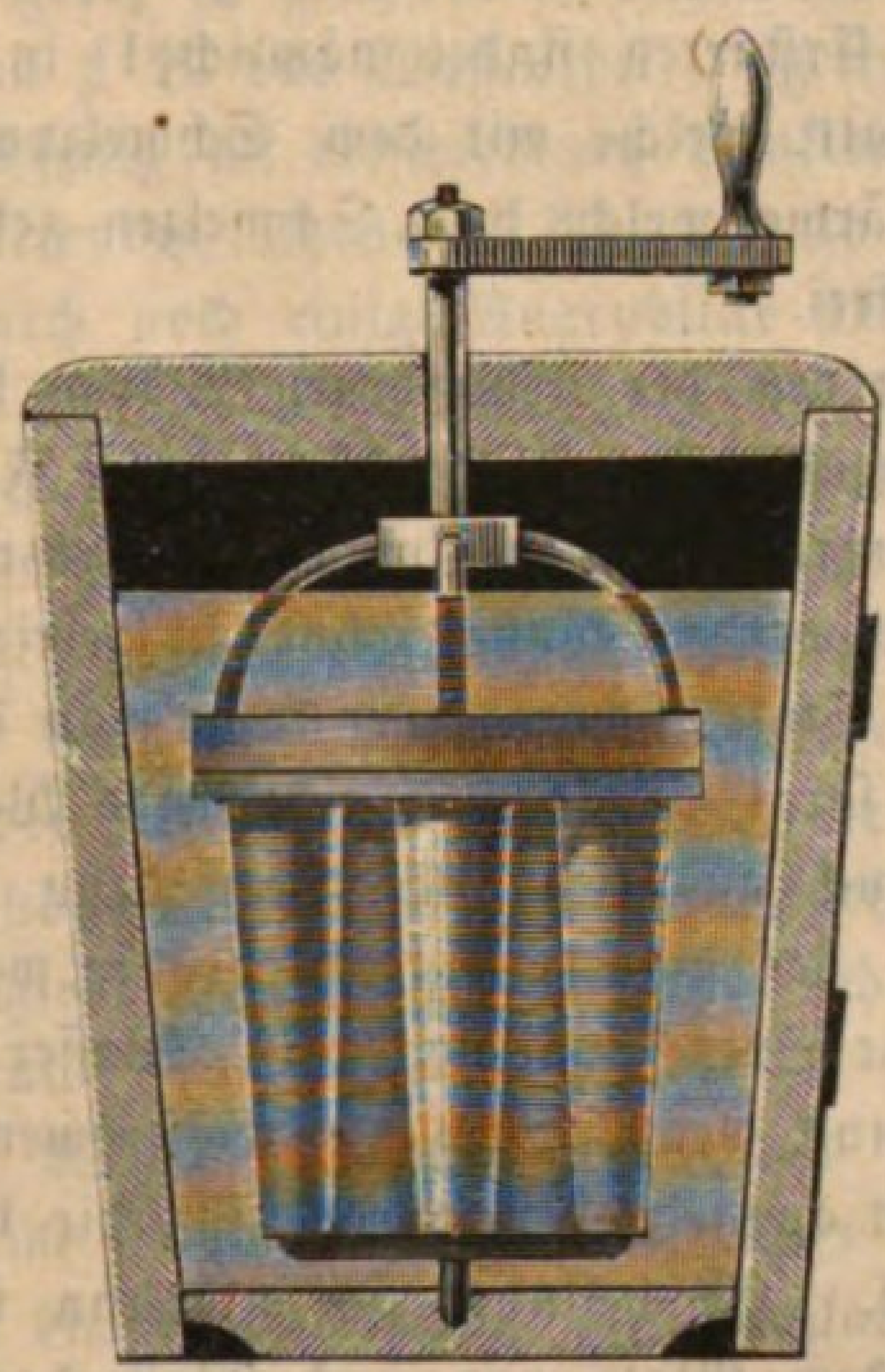
Statt des oben angegebenen salzsauren Kalks darf man kein Chlorcalcium nehmen; der salzsaure Kalk ist freilich nichts Anderes als Chlorcalcium, welches mit Krystallwasser verbunden ist; wollte man wasserfreies Chlorcalcium zu einer Kältemischung anwenden, so würde es erst soviel Wasser aufnehmen, als nöthig ist, um den salzsauren Kalk zu bilden, dabei aber würde Wärme frei werden, wodurch dann nothwendig die erkaltende Wirkung der Mischung sehr vermindert wird.

Unter den oben genannten Kältemischungen ist Schnee oder gestoßenes Eis mit Kochsalz jedenfalls die bequemste und zweckmäßigste; da die Anwendung von Säuren immer mehr oder weniger unangenehm ist. Hat man aber weder Schnee noch Eis zur Disposition, so ist es am zweckmäßigsten, sehr leicht lösliche Salze und Wasser anzuwenden, etwa die oben angegebene Mischung von 5 Theile Salmiak und 5 Theile Salpeter auf 19 Theile Wasser, oder

noch besser, ungefähr gleiche Gewichtstheile salpetersaures Ammoniak und Wasser.

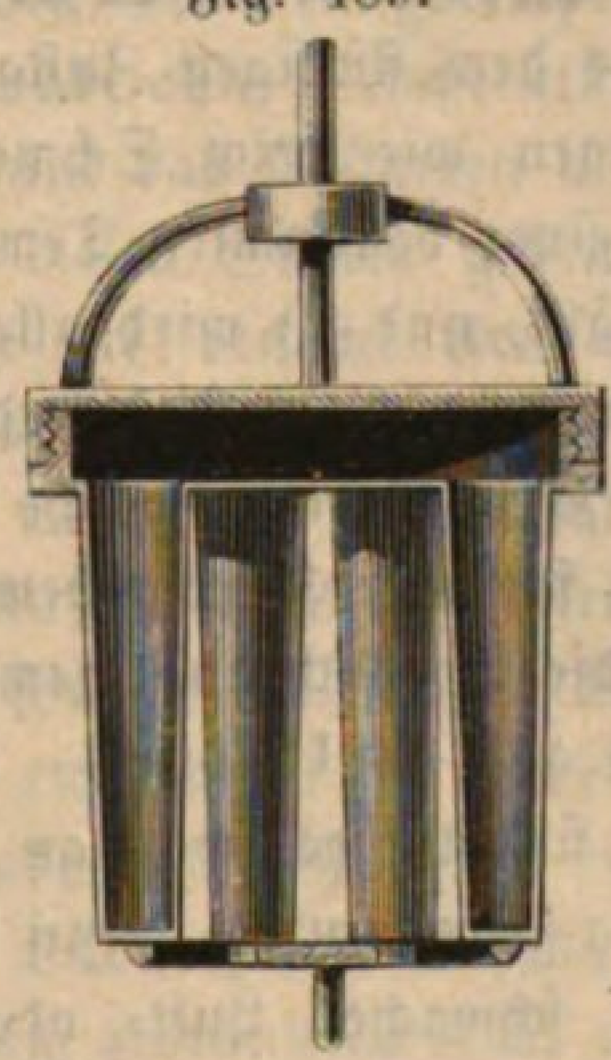
Um durch rasche Auflösung von salpetersaurem Ammoniak eine bedeutende Temperaturerniedrigung zu erzeugen und dadurch Wasser oder eine andere Flüssigkeit zum Gefrieren zu bringen, kann man Grubeaud's Apparat anwenden, welcher Fig. 488 bis 490 dargestellt ist. Das Wasser oder überhaupt

Fig. 488.



1/8

Fig. 489.



1/8

Fig. 490.



1/8

die Flüssigkeit, welche man zum Gefrieren bringen will, wird in ein Gefäß gebracht, welches Fig. 490 im Grundriß und zwar von unten gesehen, Fig. 489 aber im Durchschnitt nach der Linie *ab* dargestellt ist. Es besteht aus mehreren schwach conischen Röhren von sehr dünnem Zinn oder von Blech. Diese Röhren münden oben in eine flache cylindrische Kammer, welche mittelst eines aufzuschraubenden Deckels verschlossen wird.

An dem unteren Ende dieses Röhrenapparates ist ein kleiner eiserner Zapfen angebracht, welcher in eine Höhlung im Boden eines hölzernen Eimers paßt. Ist der Röhrenapparat in den Eimer eingesetzt, so schüttet man den Eimer nahe halb voll Wasser und fügt dann fein krystallisirtes salpetersaures Ammoniak hinzu (auf 1 Pfd. Wasser 1 Pfd. des Salzes). Nun wird rasch der Deckel auf den Eimer aufgesetzt, durch dessen Mitte eine auf dem Deckel des Röhrenapparates befestigte eiserne Axe hindurchgeht, auf welchem endlich eine Kurbel angeschraubt wird, mittelst deren der Röhrenapparat in rasche Rotation gesetzt wird. Die dadurch im Wasser des Eimers hervorgebrachte Bewegung beschleunigt die Auflösung des Salzes, welche eine so bedeutende

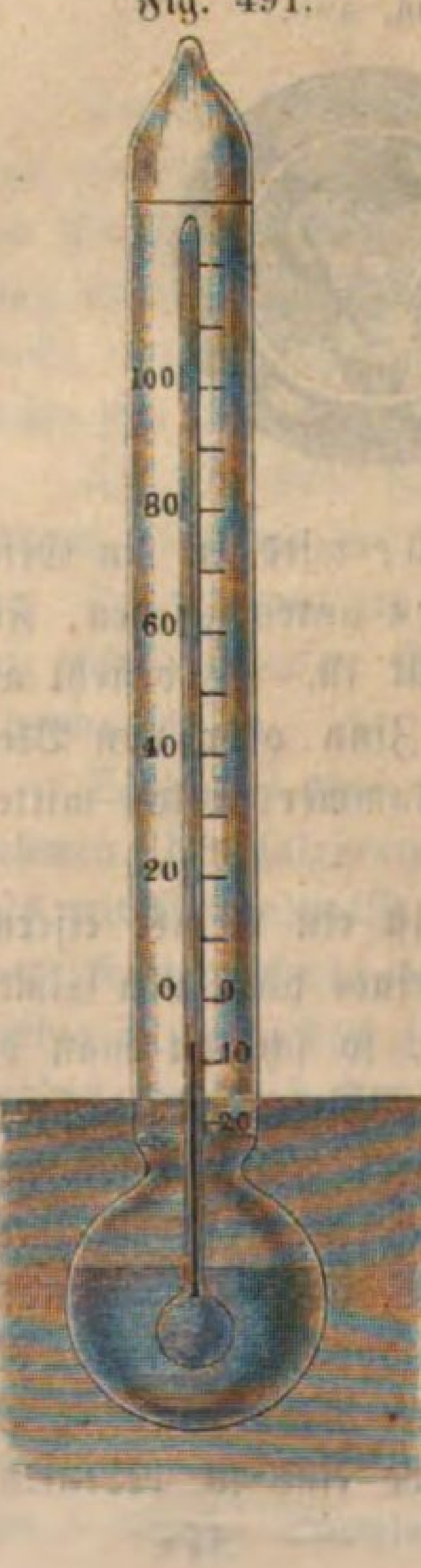
Wärmebindung zur Folge hat, daß das in den Röhren enthaltene Wasser gefriert.

Durch Eindampfen der Lösung kann man das salpetersaure Ammoniak wieder in krystallisirtem Zustande erhalten und es dann später abermals zur Eisbereitung verwenden.

189 **Freiwerden der Wärme beim Erstarren.** Beim Uebergange der Körper aus dem flüssigen Zustande in den festen beobachtet man ganz analoge Erscheinungen wie beim Schmelzen; das Erstarren findet nämlich 1) in der Regel bei einer bestimmten Temperatur Statt, welche mit dem Schmelzpunkte zusammenfällt, und 2) wird alle latente Wärme, welche beim Schmelzen gebunden worden war, beim Festwerden wieder frei.

Eine Erscheinung, welche das Freiwerden der gebundenen Wärme beim Festwerden flüssiger Körper beweist, ist folgende: Im Jahre 1714 hatte Fahrenheit die Beobachtung gemacht, daß unter gewissen Umständen das reine Wasser bis auf — 10 bis — 12° erkaltet werden könne, ohne zu gefrieren. Manchmal findet dies schon an freier Luft Statt; sicherer aber kann man diese Erscheinung hervorrufen, wenn man dafür sorgt, daß das zu erkaltende Wasser nur einem schwachen Luft- oder Dampfdruck ausgesetzt ist. Man kann dies dadurch bewirken, daß man in einer Glasröhre, welche oben in eine feine Spitze ausgezogen ist, Wasser ins Kochen bringt, und wenn durch die ausströmenden Dämpfe alle Luft ausgetrieben worden ist, die feine Spitze zuschmilzt. Es befindet sich alsdann über dem Wasser in dem Glase nur noch Wasserdampf, welcher bei niedrigen Temperaturen einen sehr geringen Druck ausübt. Wenn man eine solche Vorrichtung in eine Kältemischung von — 5° bis — 6° C. einsenkt, so erkaltet das Wasser weit unter dem Gefrierpunkt, ohne zu erstarren, eine Erschütterung aber macht, daß die ganze Wassermasse plötzlich gefriert. Wenn man nun dafür gesorgt hat, daß sich im Inneren der Glasröhre ein Thermometer befindet, dessen Kugel in das Wasser eingetaucht ist, Fig. 491, und an welchem man die niedrige Temperatur ablesen kann, so beobachtet man wie dieses Thermometer in dem Augenblick, wo das Wasser fest wird, bis auf 0° steigt.

Fig. 491.



$\frac{1}{2}$

Nach Böttger gelingt dieser Versuch auch schon, wenn man auf das in einem Reagenzröhrchen enthaltene Wasser (in welches das Thermometer eingetaucht ist) eine Oelschicht aufgießt und dann die Vorrichtung in die Kältemischung einsenkt.

Die Schnelligkeit, mit welcher das Festwerden

unter diesen Umständen vor sich geht, und das Steigen des Thermometers sind zwei Phänomene, welche sich leicht erklären lassen. Die latente Wärme der ersten Theilchen, welche gefrieren, geht auf die benachbarten, noch flüssigen Theilchen über. Sie werden zwar erwärmt, aber nicht hinreichend, um ihr Erstarren zu verhindern; daher die doppelte Wirkung des Festwerdens und der Erwärmung.

Wenn das Festwerden bei der gewöhnlichen Erstarrungstemperatur vor sich geht, so geschieht es immer nur langsam und ohne Temperaturerhöhung. Wenn z. B. das Wasser bei 0° gefriert, so beginnt das Erstarren in der Regel gleichzeitig an verschiedenen Punkten, und an diesen Stellen geben die zuerst erstarrenden Theilchen ihre latente Wärme an die benachbarten ab, welche dadurch noch einige Augenblicke flüssig erhalten werden. Deshalb beobachtet man dünne Eisblättchen und feine Eisnadeln, welche auf mannigfaltige Weise in der flüssigen Masse gleichsam fortwachsen. Auf diese Weise zerstreut sich die latente Wärme nach und nach; ohne die latente Wärme müßte die ganze flüssige Masse, bis zur Erstarrungstemperatur erkaltet, auf einmal fest werden.

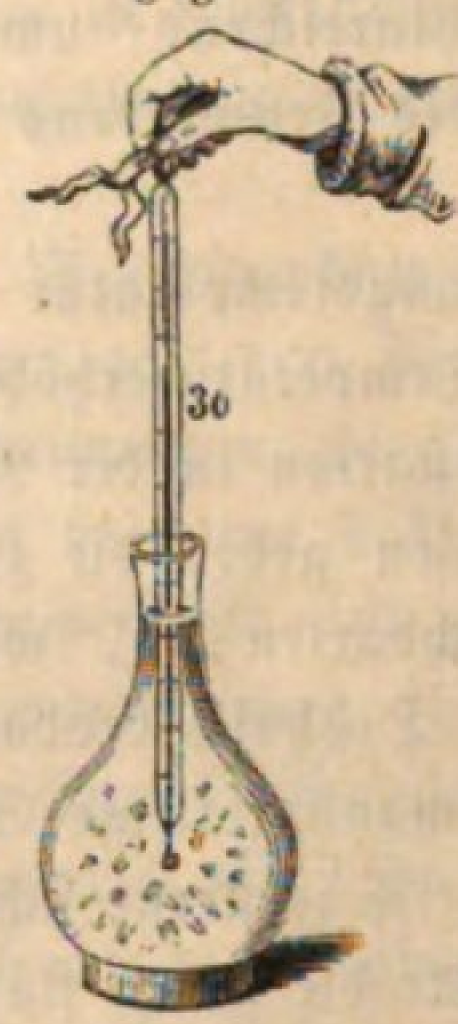
Auch wenn Wasser sich mit irgend einer anderen Substanz zu einem festen Körper verbindet, muß Wärme frei werden. Dadurch erklärt sich zum Theil die hohe Temperatur, welche entsteht, wenn man gebrannten Kalk mit Wasser übergießt; das Wasser verbindet sich nämlich mit dem kaustischen Kalk zu Kalkhydrat.

Wenn ein Körper aus einer Flüssigkeit herauskrystallisirt, so muß alle Wärme frei werden, die bei seiner Auflösung gebunden wurde; meistens geht aber die Krystallisation nur langsam vor sich, so daß man hier ebenso wenig eine Temperaturerhöhung nachweisen kann, wie bei dem Gefrieren des Wassers unter den gewöhnlichen Umständen; doch läßt sich die bei dem Krystallisiren frei werdende Wärme am Thermometer durch folgendes Verfahren sichtbar machen. Man löse 3 Theile Glaubersalz in 2 Theilen Wasser bei hoher Temperatur auf, gieße dann etwas Oel auf die heiße Auflösung. Bei ruhigem Erkalten krystallisirt das Salz noch nicht aus der Lösung heraus, obgleich sie gewissermaßen für die Temperatur, bis zu welcher sie sich abgekühlt hat, übersättigt ist. Wenn man aber nun die unterdrückte Krystallisation dadurch einleitet, daß man irgend einen festen Körper in die Lösung bringt, so bilden sich plötzlich eine Menge von Glaubersalz-Krystallen, und die Temperatur der Lösung steigt dabei oft um 15 bis 20 Grad.

Die beim Erstarren frei werdende Wärme läßt sich sehr schön mit unterschwefligsaurem Natron in folgender, von Böttger angegebenen Weise zeigen. Man füllt ein Glaskölbchen, Fig. 492 (a. f. S.), welches ungefähr 6 bis 7 Unzen Wasser fassen kann, und welches einen etwas weiten Hals hat, mit gestoßenem krystallisirten unterschwefligsauren Natron. Bei vorsichtigem Erhitzen schmilzt das Salz bei einer Temperatur von 45° R. in seinem Krystallwasser. Ist das Salz völlig geschmolzen, so stellt man das Kölbchen auf einen schlechten Wärmeleiter, damit die Erkaltung möglichst langsam vor sich gehe. Nach 2 bis 3 Stunden ist das Kölbchen sammt seinem Inhalte bis auf die

Temperatur der umgebenden Luft erkaltet, wie man am besten sehen kann, wenn man in dem geschmolzenen Salze ein Thermometer stehen läßt, ohne daß ein Erstarren des Salzes erfolgt, wenn man das Kölbchen vor Erschütterungen geschützt hat; wenn man aber nun das Kölbchen erschüttert, oder noch besser ein Stückchen des festen Salzes hineinfallen läßt, so geht die Krystallisation durch die ganze Masse auf einmal vor sich, und dabei steigt das Thermometer um 18 bis 20 Grad.

Fig. 492.



$\frac{1}{6} - \frac{1}{8}$

Dasselbe Kölbchen mit unterschwefligsauren Natron läßt sich immer wieder zu demselben Versuche anwenden.

Wenn Wasser sich mit irgend einem anderen Stoffe zu einem festen Körper verbindet, so muß bei diesem Uebergange aus dem flüssigen in den festen Zustand gleichfalls Wärme frei werden, und daher erklärt sich die starke Erwärmung, welche eintritt, wenn man gebrannten Kalk mit einer entsprechenden Menge Wasser übergießt.

Der krystallisirte Gyps ist bekanntlich eine Verbindung von schwefelsaurem Kalk mit Wasser. Durch Erhitzen wird das Wasser ausgetrieben und es bleibt ein weißes Pulver übrig, der gebrannte Gyps, welchen man zum Gießen der Gypsfiguren anwendet. Rührt man den gebrannten Gyps mit einer entsprechenden Menge Wasser zu einem Brei an, so wird derselbe nach einiger Zeit plötzlich erstarren, wobei dann eine bedeutende Erwärmung eintritt.

Der Gyps einer gegossenen Gypsfigur kann natürlich nicht wieder zum Gießen verwendet werden, da er ja bereits eine wasserhaltige Verbindung ist, es müßte dann vorher erst das Wasser wieder durch Erhitzung ausgetrieben worden sein.

Der krystallisirte Kupfervitriol ist ein Hydrat des schwefelsauren Kupferoxyds. Durch Glühen kann man das Wasser austreiben und es bleibt dann das schwefelsaure Kupferoxyd als ein weißes Pulver zurück. Gießt man etwas Wasser auf dasselbe, so bildet sich sogleich unter bedeutender Wärmeentwickelung das blaue Salz wieder.

In diesen und ähnlichen Fällen ist aber die Quelle der Wärmeentwickelung nicht allein in dem Uebergange des Wassers in den festen Zustand zu suchen, sondern sie ist zum Theil auch eine Folge des chemischen Processes an und für sich, wie dies weiter Unten noch gezeigt werden soll.

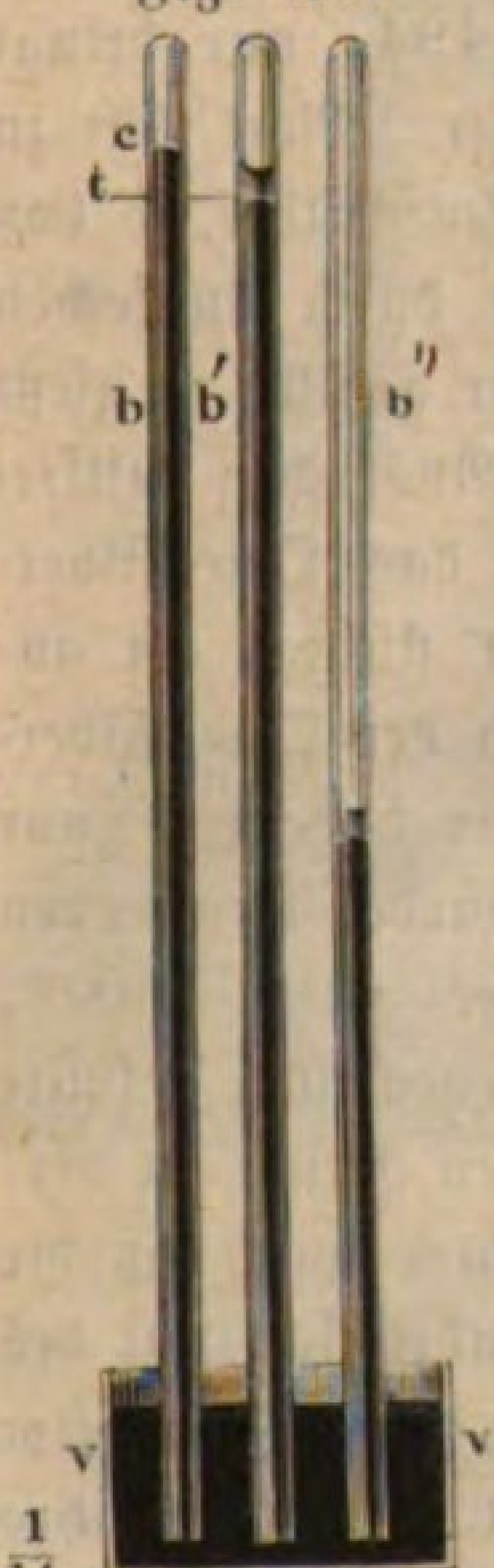
190 **Dampfbildung.** Wenn eine Flüssigkeit mit der Luft in Berührung ist, so nimmt ihre Menge mehr und mehr ab, und nach kürzerer oder längerer Zeit verschwindet sie vollständig. Das Wasser, welches nach einem Regen den Boden bedeckt, widersteht nicht dem Wehen eines trockenen Windes und der Einwirkung des Sonnenscheins; es verschwindet, nicht allein, indem es in den Boden einsickert, sondern auch, indem es in der Luft verdunstet.

Das Phänomen der Verdunstung geht rascher vor sich, wenn man eine Schale mit Wasser über Feuer zum Kochen bringt; in kurzer Zeit ist alles Wasser verschwunden, und doch ist es nicht vom Gefäße verschluckt worden. Es geht daraus hervor, daß die Flüssigkeiten ihren Aggregatzustand ändern, daß sie unsichtbar und expansibel werden, wie die Gase. Mit dem Namen Dampf bezeichnet man eine in gasförmigen Zustand übergegangene Flüssigkeit.

Man war lange Zeit der irrigen Meinung, daß die Dämpfe für sich selbst nicht bestehen könnten; man glaubte, sie seien ganz in derselben Weise in der Luft aufgelöst wie die Salze im Wasser; um eine Flüssigkeit gasförmig zu machen, bedürfe es ebenso eines Auflösungsmittels, der Luft, wie ein Lösungsmittel, etwa Wasser, nöthig sei, um die festen Salze flüssig zu machen. Um die Unrichtigkeit dieser Meinung darzuthun und zugleich die wahren Gesetze der Dampfbildung zu studiren, muß man machen, daß die Dampfbildung im luftleeren Raume vor sich geht. Dazu eignet sich nun die Torricelli'sche Leere ganz vorzüglich, nicht allein weil man es mit einem vollkommen luftleeren Raume zu thun hat, sondern auch weil die Depression der beweglichen Quecksilbersäule ein Mittel bietet, die Expansivkraft der Dämpfe zu messen.

Nehmen wir an, man habe in einem weiteren, mit Quecksilber gefüllten Gefäße *v* (Fig. 493) drei Torricelli'sche Röhren neben einander gestellt, so wird in allen das Quecksilber gleich hoch stehen; wenn man aber mit Hülfe einer gekrümmten Pipette etwas Wasser in die mittlere Röhre *b'* bringt, so steigt es alsbald bis zur Torricelli'schen Leere in die Höhe, und augenblicklich sinkt auch der Gipfel der Quecksilbersäule um einige Millimeter. Dem Gewicht der kleinen Wasserschicht, welche jetzt auf dem Quecksilber schwimmt, kann man diese Depression nicht zuschreiben; hat man, wie es nöthig ist, wenn der Versuch entscheidend sein soll, Wasser genommen, welches durch Kochen vollständig von Luft befreit worden ist, so kann man jene Depression auch nicht der aus dem Wasser sich entbindenden Luft zuschreiben. Aus dem Wasser müssen sich also Dämpfe entwickelt haben, welche, wie die Gase, eine Spannung haben; denn diese Wasserdämpfe wirken gerade so, als ob man eine kleine Portion Luft in die leere Kammer hätte aufsteigen lassen.

Fig. 493.



Die Größe der Depression giebt zugleich ein Maaß für die Spannkraft der Wasserdämpfe. Nehmen wir an, die durch die Wasserdämpfe deprimirte Quecksilberkuppe *t* stehe um 15mm tiefer als die Kuppe *c* des anderen Barometers, über welcher sich noch ein vollkommenes Vacuum befindet, so ist klar, daß die Wasserdämpfe auf die Kuppe *t* gerade so stark drücken, als eine Quecksilbersäule von 15mm Höhe. Die Depression von 15mm ist also wirklich das Maaß für die Spannkraft des Wasserdampfes.

Hätte man in das dritte Barometerrohr *b''* anstatt Wasser eine andere Flüssigkeit, etwa Schwefeläther, gebracht, so

würde man eine weit bedeutendere Depression bemerkt haben als beim Wasser, denn bei einer mittleren Temperatur beträgt die Depression fast die Hälfte der Höhe des Barometers *b*; es folgt daraus, daß unter diesen Umständen der Aetherdampf eine Spannkraft hat, welche fast dem Drucke einer halben Atmosphäre gleich ist.

191 **Unterschied der Gase und Dämpfe.** Das Bestreben der Dämpfe, sich auszudehnen, geht, wie bei den Gasen, bis ins Unendliche, d. h. die kleinste Menge Dampf breitet sich in einem leeren Raume, so groß er auch sein mag, nach allen Seiten aus, und übt auf die Wände immer noch einen mehr oder minder großen Druck aus. Die kleinste Menge Wasser ist also fähig, in Dampfgestalt einen Raum von mehreren tausend Cubikmetern in derselben Weise auszufüllen wie die Luft. Obgleich aber die Dämpfe eine bis ins Unendliche gehende Expansionskraft haben, so kann man doch ihre Spannkraft nicht durch vermehrten Druck beliebig vergrößern, wie dies bei Gasen der Fall ist. Man mag eine gegebene Luftmenge noch so stark comprimiren, immer wird nach dem Mariotte'schen Gesetze ihre Elasticität in demselben Verhältnisse zunehmen, in welchem ihr Volumen verkleinert wird. Wenn man versucht, Dämpfe zu comprimiren, um dadurch ihre Elasticität zu vergrößern, so gelangt man bald zu einem Punkte, wo sich der Dampf verdichtet und in den flüssigen Zustand zurückkehrt. Diese Grenze des Widerstandes, bei welcher jede fernere Compression keine Vermehrung der Elasticität des Dampfes hervorbringt, sondern ihn flüssig macht, nennt man das Maximum der Tension des Dampfes.

Um diesen charakteristischen Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen durch den Versuch nachzuweisen, bedient man sich am zweckmäßigsten des schon im ersten Bande Seite 162 beschriebenen Apparates, Fig. 494; nur bringt man nicht Luft in die Barometerröhre, sondern etwas Aether. Man füllt zu diesem Zwecke die Torricelli'sche Röhre sehr sorgfältig mit Quecksilber, so daß alle Luft möglichst entfernt ist, was man am vollständigsten durch Auskochen erreicht. Ist die Röhre so bis auf 1 oder 2^{cm} mit Quecksilber gefüllt, so gießt man diesen Raum noch voll Aether, welcher durch vorheriges Auskochen luftfrei gemacht sein muß, kehrt die Röhre um und taucht sie in das Quecksilbergefäß *ab*. Der Aether steigt in die Höhe, ein Theil bleibt flüssig, ein anderer verdampft im leeren Raume und bewirkt die Depression der Quecksilbersäule, wie dies durch Fig. 495 *A* angedeutet ist. Die Säule *ns* habe z. B. nur noch eine Höhe von 400^{mm}, während sie 760^{mm} hoch sein würde, wenn oben ein Vacuum wäre, so ist die Spannkraft des Aetherdampfes gleich 360^{mm}. Wenn man nun die Torricelli'sche Röhre tiefer in die mit Quecksilber gefüllte Röhre hinabdrückt, um dadurch den mit Aetherdampf gefüllten Raum zu verkleinern, wie dies durch Fig. 495 *B* angedeutet ist, so beobachtet man, daß die Höhe der Quecksilbersäule *ns* ganz unverändert bleibt. Befindet sich statt des Aetherdampfes Luft im oberen Theile der Röhre, so wissen wir, daß, wenn beim Niederdrücken das Volumen der abgesperrten Luft verkleinert wird, auch ihre

Elasticität zunimmt, so daß die Höhe der Quecksilbersäule im Barometerrohr abnimmt, wie dies durch die Figuren 496 A u. B angedeutet werden soll. Der

Fig. 494.

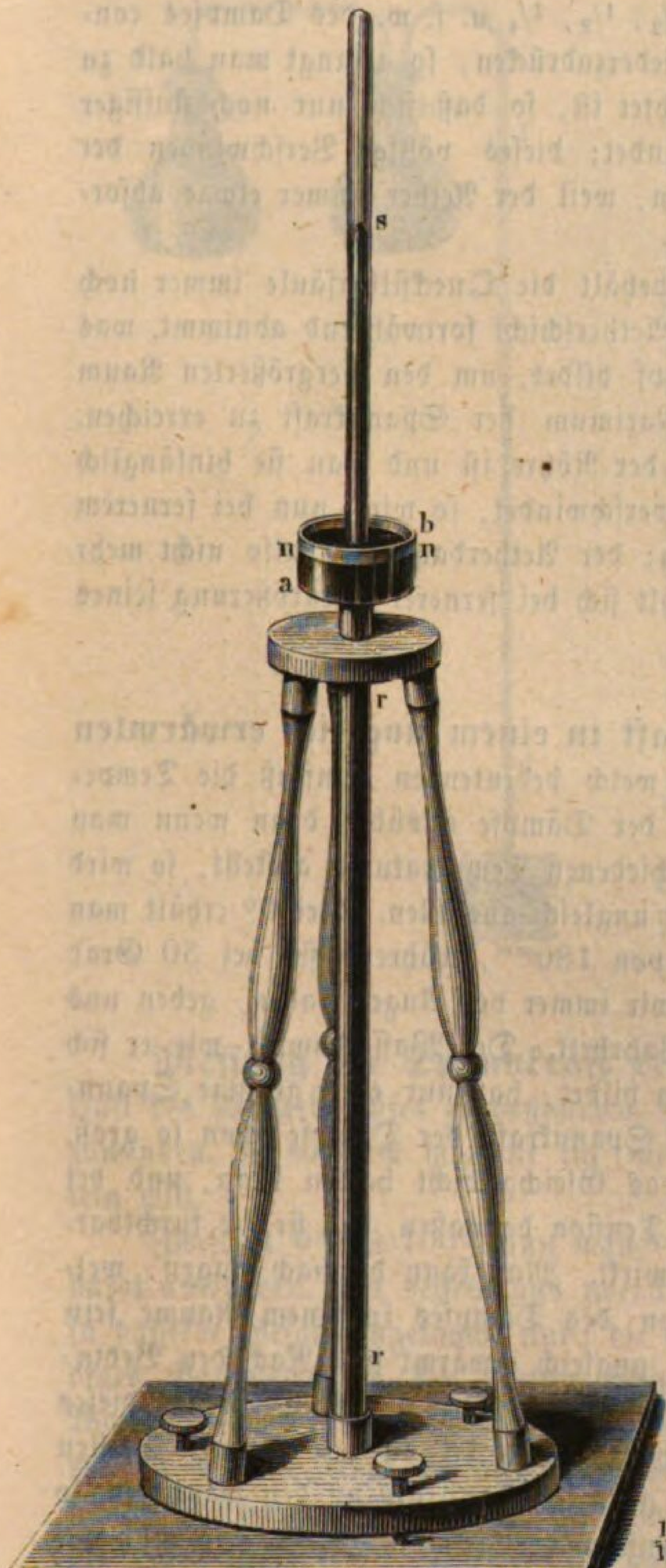


Fig. 495.

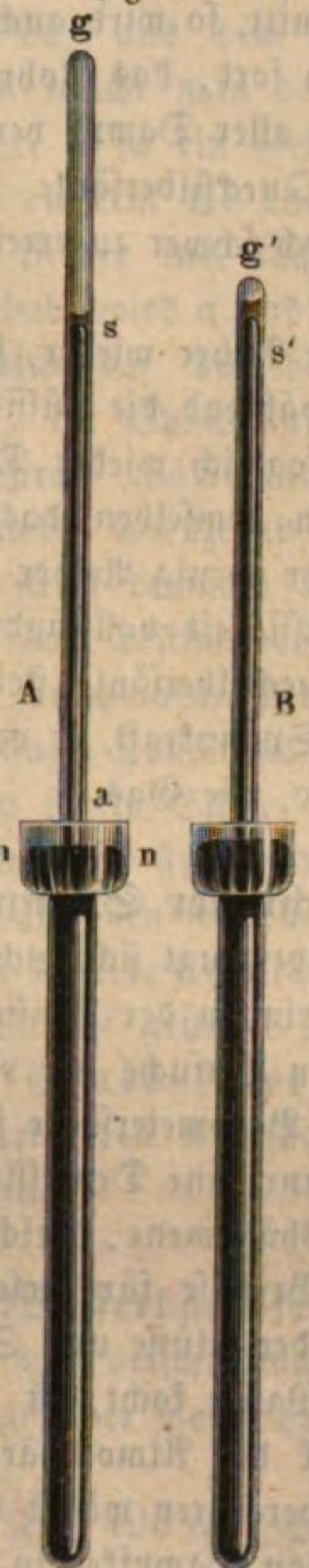
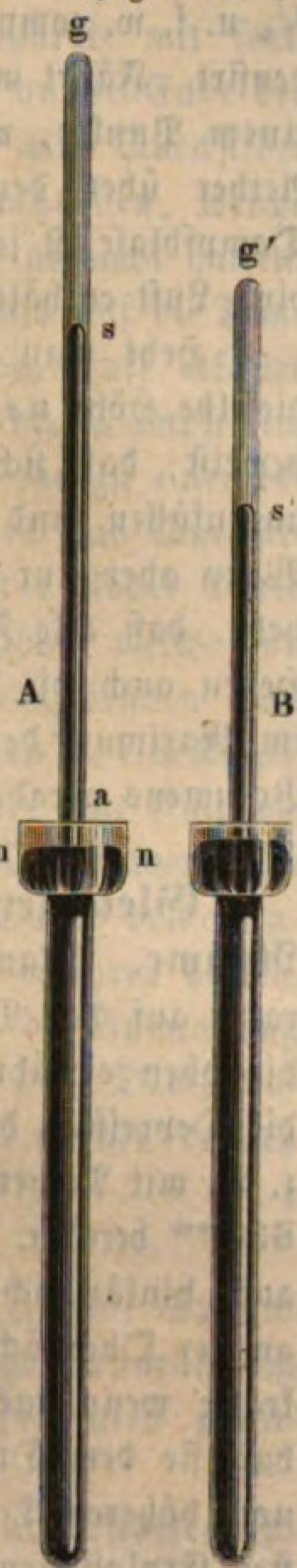


Fig. 496.



Aetherdampf verhält sich also anders, als die Luft; das Volumen des Aetherdampfes wird vermindert, ohne daß seine Elasticität zunimmt, denn die Höhe der Säule ns bleibt ja dieselbe. Je mehr man aber niederdrückt, desto mehr nimmt die Menge des flüssigen Aethers zu, die Verkleinerung des mit Aetherdämpfen er=

füllten Raumes bewirkt also, daß sich ein Theil der Dämpfe wieder zu flüssigem Aether condensirt, während die übrigen Dämpfe ihre Spannkraft nicht ändern. Wenn man also den mit Aetherdampf gefüllten Raum *sg* auf $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ u. s. w. comprimirt, so wird auch $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ u. s. w. des Dampfes condensirt. Fährt man fort, das Rohr niederzudrücken, so gelangt man bald zu einem Punkte, wo aller Dampf verdichtet ist, so daß sich nur noch flüssiger Aether über der Quecksilbersäule befindet; dieses völlige Verschwinden der Dampfblase ist jedoch schwer zu erreichen, weil der Aether immer etwas absorbirte Luft enthält.

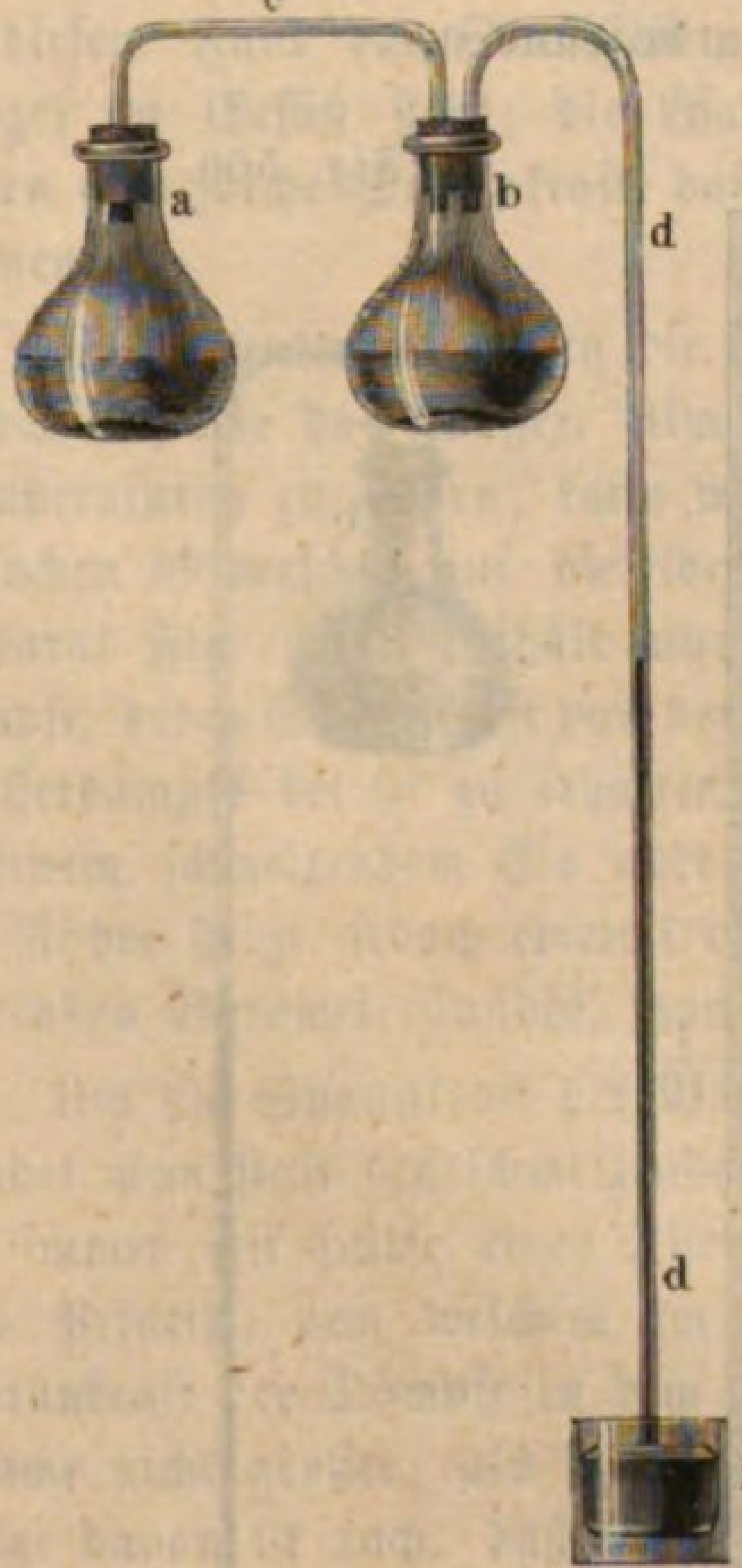
Hebt man die Röhre wieder, so behält die Quecksilbersäule immer noch dieselbe Höhe *ns*, während die flüssige Aetherschicht fortwährend abnimmt, was beweist, daß sich sogleich wieder Dampf bildet, um den vergrößerten Raum auszufüllen und in demselben das Maximum der Spannkraft zu erreichen. Wenn aber nur sehr wenig Aether in der Röhre ist und man sie hinlänglich hebt, daß alle Flüssigkeit vollständig verschwindet, so wird nun bei fernerem Heben auch die Quecksilbersäule steigen; der Aetherdampf ist also nicht mehr im Maximum der Spannkraft, er verhält sich bei fernerer Vergrößerung seines Volumens gerade so, wie Gas.

192 **Gleichgewicht der Spannkraft in einem ungleich erwärmten Raume.** Man überzeugt sich leicht, welch bedeutenden Einfluß die Temperatur auf das Maximum der Tension der Dämpfe ausübt; denn wenn man die oben erwähnten Versuche bei verschiedenen Temperaturen anstellt, so wird die Depression der Barometersäule sehr ungleich ausfallen. Bei 0° erhält man z. B. mit Aether nur eine Depression von 180^{mm}, während sie bei 30 Grad 630^{mm} beträgt. Phänomene, welche wir immer vor Augen haben, geben uns auch hinlängliche Beweise für diese Wahrheit. Der Wasserdampf, wie er sich an der Oberfläche der Flüsse und Seen bildet, hat nur eine geringe Spannkraft; wenn das Wasser kocht, ist die Spannkraft der Dämpfe schon so groß, daß sie dem Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht halten kann, und bei noch höheren Temperaturen wächst die Tension dermaßen, daß sie die furchtbarsten Explosionen von Dampfkesseln bewirkt. Man kann demnach fragen, welches wohl das Maximum der Tension des Dampfes in einem Raume sein wird, welcher an verschiedenen Stellen ungleich erwärmt ist. Nach den Bedingungen des Gleichgewichts gasförmiger Körper muß an allen Stellen dieses Raumes der Dampf gleiche Tension haben, und da an den kälteren Stellen die Spannkraft des Dampfes nicht so groß sein kann als an den wärmeren, so ist klar, daß im ganzen Raume die Tension der Dämpfe dieselbe sein muß wie an der kältesten Stelle, daß also an den wärmeren Stellen der Dampf nicht das Maximum der Spannkraft erreichen kann, welches dieser höheren Temperatur zukommt.

Dies Princip läßt sich mit Hülfe des Apparates Fig. 497 anschaulich machen. Zwei Glaskölbchen *a* und *b*, welche beide etwas Aether enthalten, sind durch eine Röhre *c* verbunden; durch den Kork, welcher *b* verschließt,

geht eine zweite abwärts gebogene Röhre *d*. Wenn man den Aether in *a* und *b* ins Kochen bringt (es geschieht dies am besten dadurch, daß man sie in heißes Wasser taucht), so entweichen die Dämpfe durch die Röhre *d* und nehmen die Luft aus dem Apparate mit fort. Nun taucht man das untere Ende der Röhre *d* in ein Gefäß mit Quecksilber und entfernt die Wärmequellen, welche den Aether ins Kochen gebracht hatten. Alsbald wird *a* und *b* bis auf die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet sein, die Spannkraft der Dämpfe im Apparate nimmt dabei bis zu einer bestimmten Grenze ab, und das Quecksilber steigt demnach in der Röhre *d* bis zu einer bestimmten Höhe, welche von der Temperatur der umgebenden Luft abhängt. Taucht man nun die eine Kugel, etwa *a*, in Schnee oder eine Kältemischung, so steigt das Quecksilber in *d* alsbald eben so hoch, als ob beide Kugeln dieselbe Erkaltung erfahren hätten.

Fig. 497.



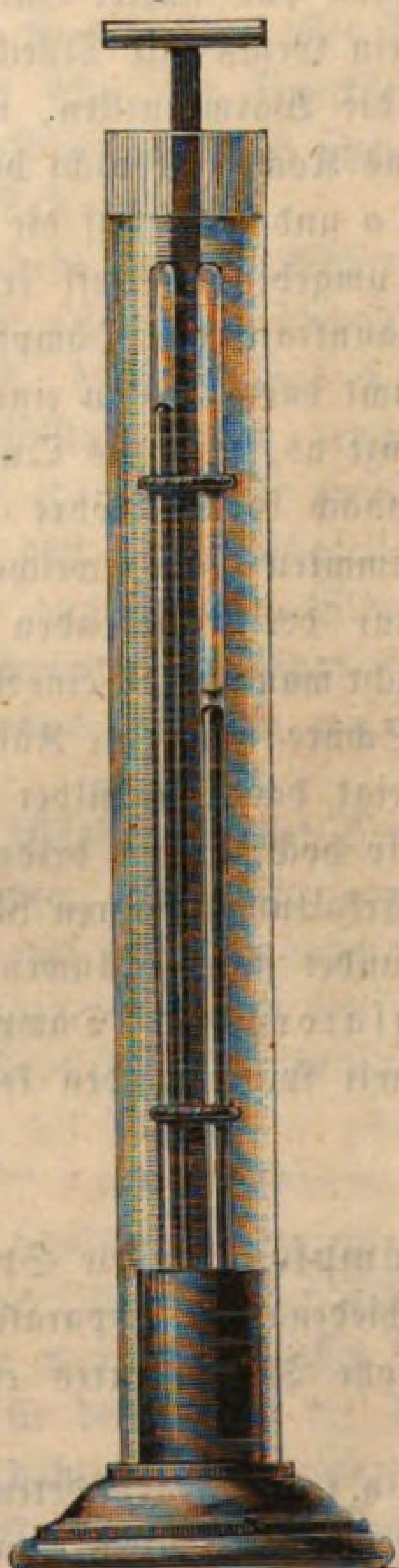
Darauf gründet sich die Anwendung des **Condensators** bei Dampfmaschinen, den wir später werden kennen lernen.

Messung der Spannkraft der Wasserdämpfe. Um die Spannkraft des Wasserdampfes zu bestimmen, hat man verschiedenartige Apparate anzuwenden, je nachdem man sie für niedrige oder hohe Temperaturen ermitteln will. 193

Zwischen 0° und 100° kann man den Fig. 498 (a. f. S.) abgebildeten Apparat anwenden. Er besteht aus zwei Barometerröhren, welche neben einander in dasselbe Gefäß eingetaucht sind; die erste dieser Röhren bildet ein vollständiges Barometer, in der zweiten befindet sich über dem Quecksilber etwas Wasser, welches zum Theil im leeren Raume verdampft. Diese beiden Röhren werden mittelst eines Eisenstabes in ein hinlänglich tiefes Glasgefäß eingesenkt. Dieses Gefäß ist ganz mit Wasser gefüllt, welches man bis zu jeder beliebigen Temperatur zwischen 0° und 100° erwärmen kann. Die Temperatur dieses Wassers, welche durch zweckmäßig angebrachte Thermometer bestimmt wird, ist zugleich die der beiden Barometer und des Wasserdampfs in dem einen. Um die Elasticität des Wasserdampfs zu erhalten, welche jedem Temperaturgrade entspricht, hat man nur zu bestimmen, in welchem Verhältniß die Depression des Dampfbarometers zur Höhe der Quecksilbersäule im

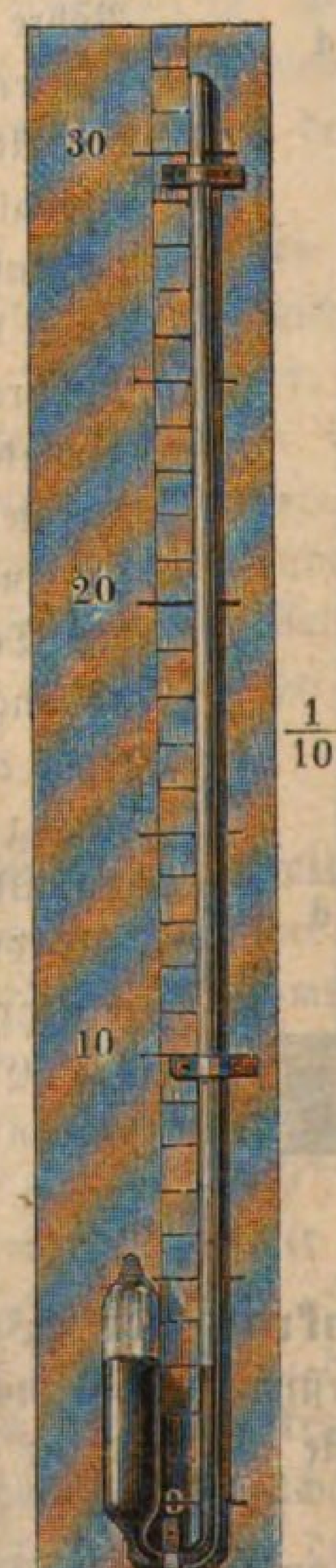
vollständigen Barometer steht. Wenn diese Depression auf 0° reducirt wird, so hat man die wahre Spannkraft des Wasserdampfs. Dies ist das einfache Verfahren, welches Dalton in Manchester im Jahre 1805 anwandte, um die Gesetze der Dämpfe zu studiren, und welches ihm dazu diente, die wahre Theorie ihrer Bildung und ihrer Elasticität zu begründen.

Fig. 498.



$\frac{1}{12}$

Fig. 499.



$\frac{1}{10}$

Fig. 500.



Um die Spannkraft der Wasserdämpfe unter 100° zu bestimmen, wandte Schmidt einen anderen Apparat an. Auf das Quecksilber im Gefäß eines vollkommen fertigen Gefäßbarometers, Fig. 499, wurde Wasser gebracht. Das Gefäß war zuvor in eine feine Spitze ausgezogen worden, welche, nachdem das Wasser einige Zeit lang gekocht hatte, zugeschmolzen wurde, so daß man überzeugt sein konnte, alle Luft ausgetrieben zu haben. Ueber dem Wasser im Gefäße befanden sich jetzt nur noch Wasserdämpfe, welche sich beim Erkalten mehr und mehr verdichteten. Je weiter nun diese Verdichtung fortschritt, desto mehr nahm die Spannkraft der Dämpfe ab, desto mehr sank auch die Quecksilbersäule in der Röhre, deren Höhe ursprünglich dem Barometerstande gleich

war. Die Differenz im Stande des Quecksilberspiegels in der Röhre und im Gefäß, welche man für eine bestimmte Temperatur des Gefäßes beobachtet, giebt unmittelbar die Spannkraft des Wasserdampfs für diese Temperatur. Taucht man z. B. das Gefäß in Wasser von 25°, so beobachtet man, daß in diesem Falle das Quecksilber in der Röhre 23mm über dem Quecksilberspiegel im Gefäß steht; die Wasserdämpfe, welche sich also bei 25° bilden, haben eine solche Spannkraft, daß sie eine 23mm hohe Quecksilbersäule tragen können.

Selbst unter 0° haben die Wasserdämpfe noch eine Spannkraft; das Eis verdampft, wie das Wasser. Um die Spannkraft der Dämpfe bei so niedrigen Temperaturen zu messen, kann man den Apparat Fig. 500 anwenden. Das Kölbchen *b*, welches auf dieselbe Weise luftleer gemacht worden ist, wie der Apparat Fig. 497, enthält nur etwas Wasser und über demselben Wasserdämpfe, deren Spannkraft von der Temperatur abhängt. Um die Spannkraft des Wasserdampfs bei 0° zu erhalten, taucht man nur das Kölbchen in ein mit gestoßenem, schmelzendem Eis oder Schnee gefülltes Gefäß. Das Quecksilber in der Röhre steigt, jedoch erreicht die Säule nicht ganz die Höhe des gerade stattfindenden Barometerstandes, man beobachtet noch eine Depression von 5mm.

Um die Spannkraft der Dämpfe für Temperaturen unter 0° zu erhalten, wendet man statt des schmelzenden Eises Kältemischungen an, deren Temperatur immer mit Hülfe eines Thermometers genau bestimmt werden kann. Nach dem Princip, von welchem im vorigen Paragraph die Rede war, ist die Spannkraft der Dämpfe in dem ganzen durch die Quecksilbersäule abgesperrten Raume nicht größer, als sie am kältesten Theile der Kugel sein kann. Eine Folge davon ist auch, daß ein kleines Wassersäulchen, welches gewöhnlich auf der Quecksilbersäule schwimmt, kleiner und kleiner wird und endlich ganz verschwindet, weil die Wasserdämpfe, die sich hier bilden, rasch zur Kugel übergehen, wo sie sich zu Wasser verdichten.

Wenn es sich darum handelt, genaue Resultate zu erhalten, muß die Röhre genau vertical stehen und die Höhe der Quecksilbersäule mit großer Genauigkeit gemessen werden.

Mit diesem Apparat kann man überhaupt die Spannkraft der Dämpfe für alle Temperaturen bestimmen, welche niedriger sind als die der umgebenden Luft.

Um die Spannkraft der Wasserdämpfe für Temperaturen über 100° zu messen, kann man einen Apparat anwenden, welcher sich von dem Apparat Fig. 499 nur dadurch unterscheidet, daß die längere Röhre oben offen ist, daß also die Atmosphäre in der Röhre auf das Quecksilber wirken kann. Wenn vor dem Zuschmelzen des Gefäßes der längere Schenkel offen ist, so stellt sich das Quecksilber im Gefäß und in der Röhre gleich hoch. Man hat nach dem Zuschmelzen der Spitze und dem Erkalten über dem Quecksilber im Gefäß nur Wasser, welches erst Dämpfe bilden kann bei Temperaturen, für welche ihre Spannkraft größer ist, als der Druck einer Atmosphäre. Bringt man das

Gefäß in Oel, dessen Temperatur mehr als 100° beträgt, so bilden sich die Wasserdämpfe, welche auf das Quecksilber im Gefäß drücken und es im langen Rohre erheben. Die Differenz der Quecksilberspiegel im Gefäß und der Röhre giebt an, um wie viel die Spannkraft der Dämpfe größer ist als ein Atmosphärendruck.

Fig. 501.

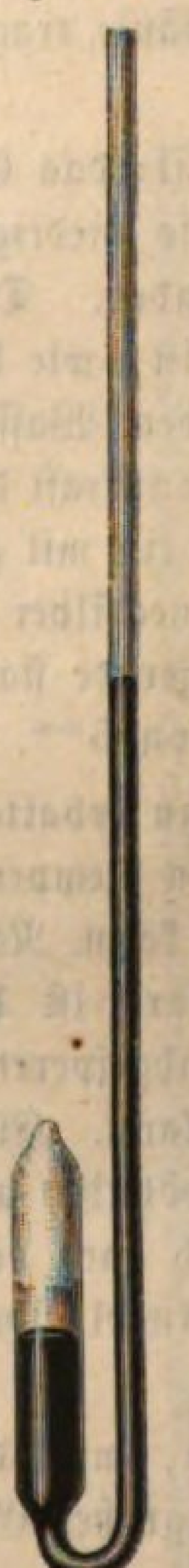


Fig. 502.



Um die Röhre vor dem Zerbrechen zu schützen und um zugleich die Höhe der gehobenen Quecksilbersäule messen zu können, ist der Apparat, Fig. 501, auf einem getheilten Stabe befestigt. Wenn die offene Röhre lang genug ist, kann man mit dieser Vorrichtung die Tension der Wasserdämpfe bis zu 3 bis 4 Atmosphären messen.

Statt eines sehr langen Rohres kann man auch ein kürzeres anwenden, welches mit Luft gefüllt und oben verschlossen ist, Fig. 502. Wenn die Wasserdämpfe im Gefäß das Quecksilber in die Röhre treiben, so wird die abgesperrte Luft comprimirt, und man kann leicht aus der Compression und der Höhendifferenz der beiden Quecksilberspiegel die Spannkraft des Wasserdampfes berechnen.

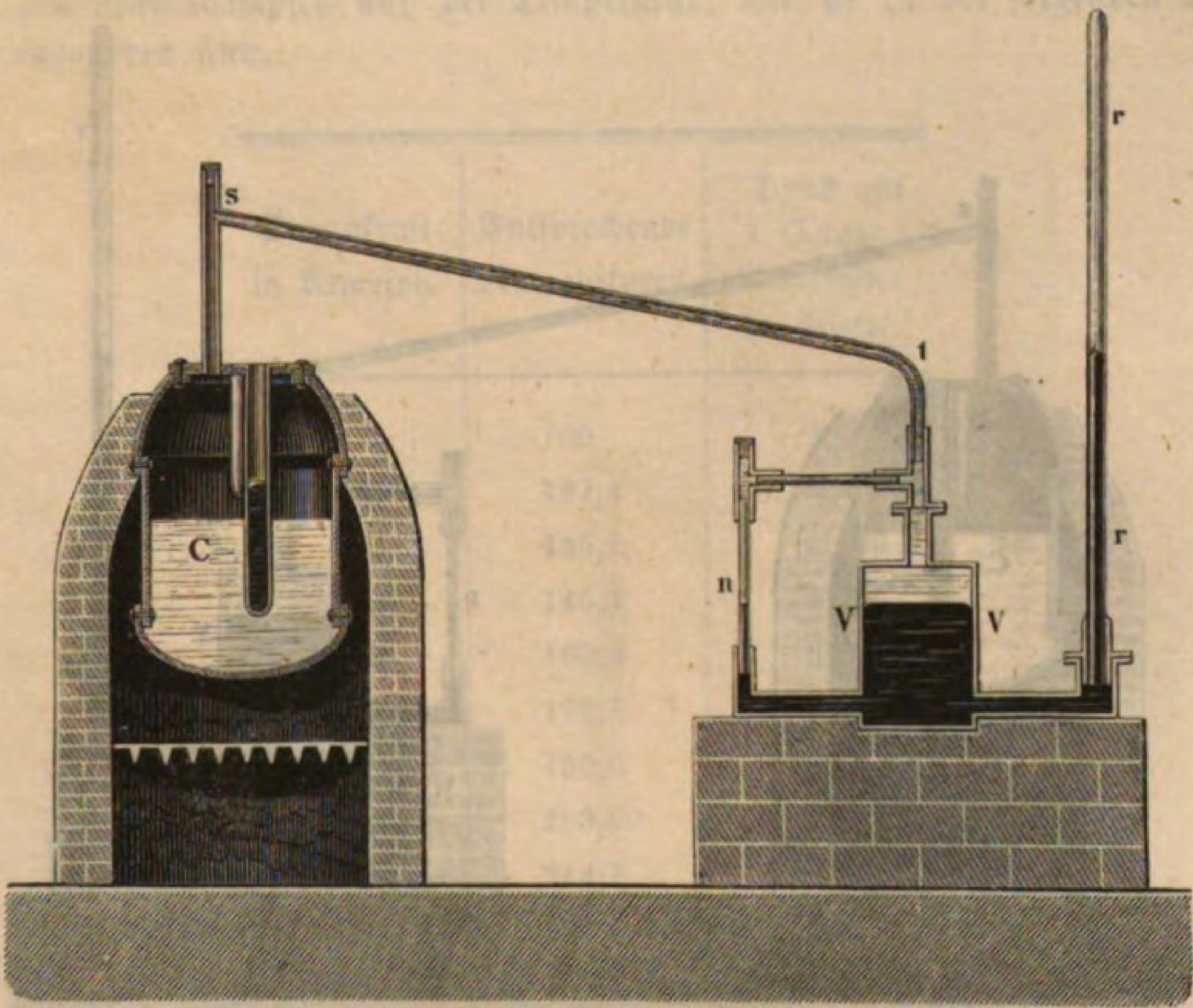
Wenn die Spannkraft der Dämpfe den Druck mehrerer Atmosphären übersteigt, hat man sehr große Schwierigkeiten zu überwinden. Die Wissenschaft besaß über diesen Punkt nur unzuverlässige Thatsachen, als Arago und Dulong von der französischen Akademie der Wissenschaft beauftragt wurden, die Elasticität der Wasserdämpfe bis zum höchsten Druck genau zu ermitteln, welcher noch bei industriellen Anwendungen vorkommen kann. Diese große Arbeit wurde im Jahre 1830 vollendet. Die Bestätigung des Mariotte'schen Gesetzes bis zu einem Drucke von 27 Atmospären war nur eine Vorarbeit zu dieser wichtigen Untersuchung. (Pogg. Annal. XVIII. Band.)

Der Apparat, dessen sie sich bedienten, ist im Wesentlichen Fig. 503 abgebildet. Der Dampf wurde in einem starken Dampfkessel *C* von Eisenblech erzeugt, welcher ungefähr ein Volumen von 80 Litern hatte.

Hätte man die Thermometer, welche zur Messung der Temperaturen dienen sollten, unmittelbar in den Dampfkessel gebracht, so wäre zu befürchten gewesen, daß der Druck der Dämpfe das Gefäß der Thermometer comprimirt hätte, und daß in Folge dessen das Quecksilber in den Thermometerröhren höher gestiegen wäre, als es der Temperaturerhöhung entspricht. Um dies zu vermeiden, waren zwei eiserne Röhren in den Deckel eingelassen, welche, oben offen

und unten verschlossen, mit Quecksilber gefüllt waren. Die eine dieser Röhren ragte bis in das Wasser des Kessels herab, die andere nicht ganz bis auf den

Fig. 503.

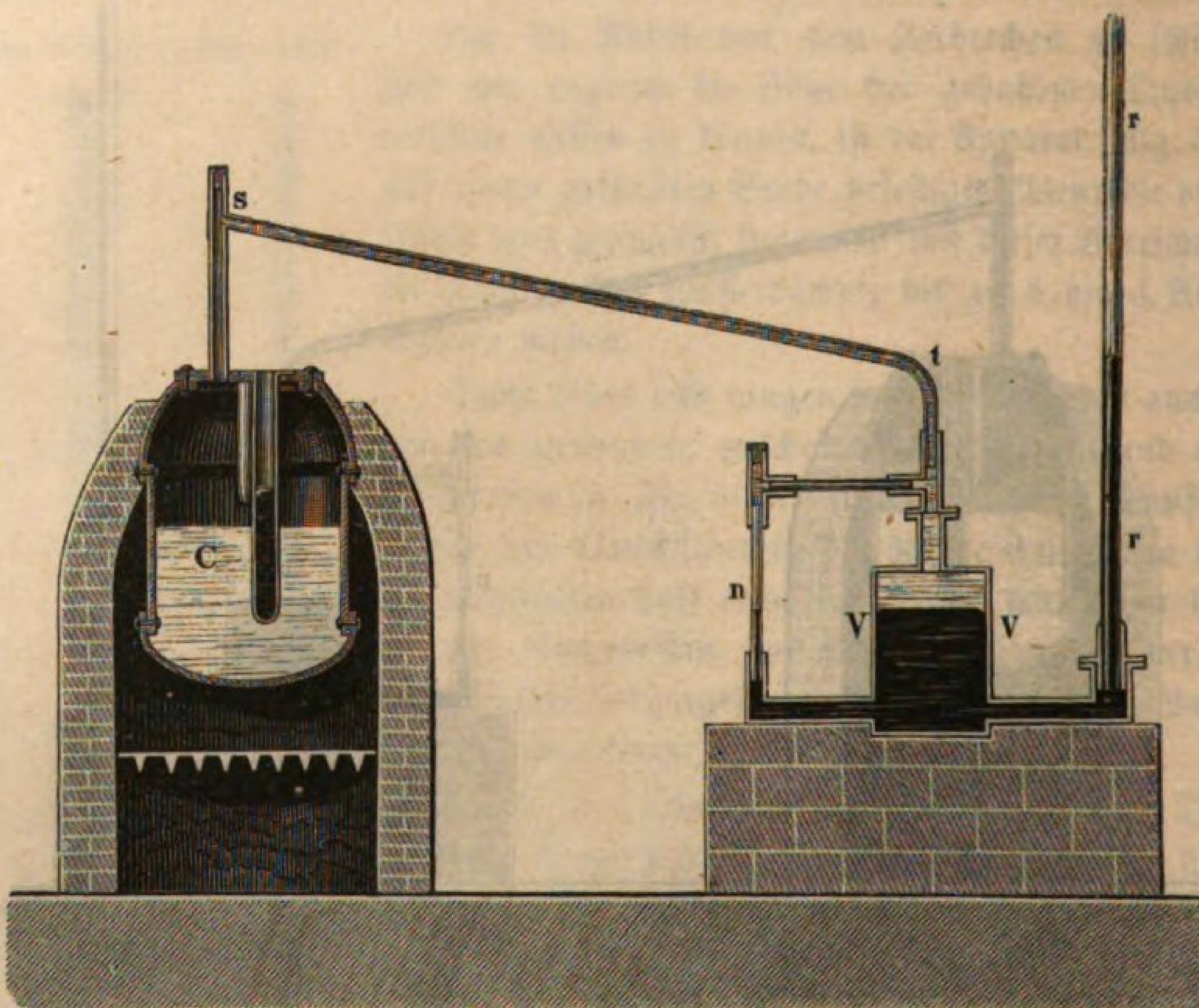


Wasserspiegel, so daß das Quecksilber in dem einen Rohre die Temperatur des Wassers, im anderen die des Dampfes hatte. In jedes Rohr war nun ein Thermometer eingesenkt, dessen Röhre oberhalb des Laufes horizontal umgebogen war. Weil das Quecksilber der Thermometerröhre da, wo sie sich außerhalb des Quecksilbers befindet, eine geringere Temperatur hat, so können Fehler entstehen, wenn man diese Temperaturdifferenz nicht in Rechnung bringt. Um dies möglich zu machen, wird der horizontale Theil der Thermometerröhre durch einen Wasserstrom auf constanter Temperatur erhalten.

Um die Spannkraft der Dämpfe zu messen, wurde dieselbe Manometerröhre angewandt, welche zuvor gedient hatte, um das Mariotte'sche Gesetz bis auf 27 Atmosphären zu prüfen. Diese Röhre *r*, welche von einer weiteren in unserer Zeichnung weggelassenen Glasröhre umgeben ist, um durch einen beständigen Wasserstrom die Temperatur in *r* unverändert erhalten zu können, steht unten mit dem Quecksilbergefäß *V* in Verbindung. Der Raum über dem Quecksilber in *V*, so wie auch das ganze Rohr *st* ist mit Wasser gefüllt. Der Dampf im Kessel drückt nun gegen das obere Ende der Wassersäule in *st*, und durch diesen Druck wird das Quecksilber in das Rohr *r* getrieben, dessen Luftinhalt also um so stärker comprimirt wird, je mehr die Spannkraft der Dämpfe im Kessel wächst.

Das Glasrohr *n* steht mit dem oberen und mit dem unteren Theile von *V* in Verbindung, so daß man am Rohre *n* die Höhe des Quecksilberspiegels

Fig. 504.



in *V* ersehen und also auch ermitteln kann, wie hoch der Gipfel der Quecksilbersäule in *r* über dem Quecksilberspiegel in *V* steht.

Damit das Wasser in dem oberen Theile der Röhre *st* nicht erwärmt werden kann, wird sie durch einen beständig fließenden Wasserstrom auf constanter Temperatur erhalten.

Die Beobachtungen mit diesem Apparate wurden in folgender Weise angestellt. Nachdem in den Kessel eine solche Menge Wasser gegossen war, daß der Behälter des kleineren Thermometers sich eben über dem Wasserspiegel befand, wurde das Wasser 15 bis 20 Minuten lang im Kochen erhalten, während das Sicherheitsventil des Kessels offen blieb, um alle atmosphärische Luft auszutreiben. Auf den Rost des Ofens wurde dann eine größere oder kleinere Menge Brennmaterial aufgelegt, je nachdem man eine höhere oder weniger hohe Temperatur zu erhalten beabsichtigte, und nun alle Oeffnungen des Kessels geschlossen. Die beiden Thermometer und die Quecksilbersäule im Manometer begannen nun rasch zu steigen, bald aber wurde das Steigen langsamer und erreichte ein Maximum. In dem Moment dieses Maximums wurde der Stand der Thermometer von einem Beobachter, der Stand des Manometers aber von einem anderen notirt. Auf diese Weise wurden 30 Beobachtungen gemacht; die niedrigste Temperatur war 123,7° und die entsprechende beobachtete Spann-

kraft des Dampfes war 2,14 Atmosphären, die höchste Temperatur war 223,15° und die entsprechende Spannkraft 23,994 Atmosphären.

Nach einer empirischen Formel, von welcher alsbald die Rede sein wird, ergeben sich aus diesen Versuchen die zusammengehörigen Werthe der Spannkraft des Wasserdampfes und der Temperatur, wie sie in der folgenden Tabelle angegeben sind.

Spannkraft in Atmosph.	Entsprechende Temperaturen.	Druck auf 1 Quadr.-Centimeter in Kilogr.
1	100	1,033
2	121,4	2,066
3	135,1	3,099
4	145,4	4,106
6	160,2	6,198
8	172,1	8,264
12	190,0	12,396
16	203,60	16,528
20	214,7	20,660
25	226,3	25,825
50	265,89	51,650
100	311,36	103,3
200	363,58	206,6
400	423,57	413,2
600	462,71	619,8
800	492,47	826,4
1000	516,76	1033,0

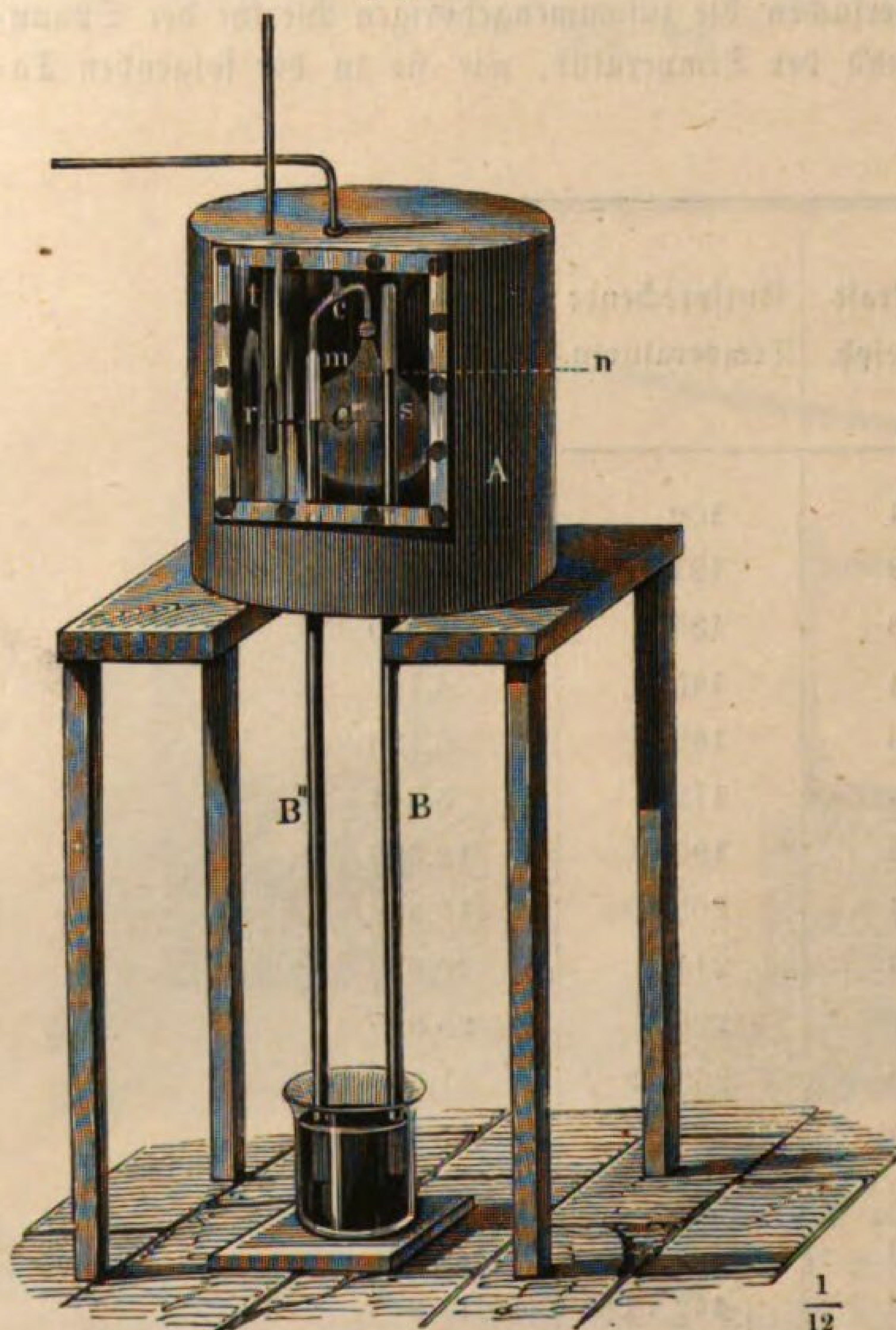
Leider war zur Zeit, da Dulong und Arago ihre Versuche anstellten, der Einfluß der Glasausdehnung auf den Gang der Quecksilberthermometer und namentlich das ungleiche Verhalten verschiedener Glassorten noch nicht gehörig ermittelt, weshalb Regnault eine neue Untersuchung des Spannkraftgesetzes für nöthig hielt.

Um die Spannkraft der Wasserdämpfe bis zu einer Temperatur von 60° C. zu bestimmen, wandte Regnault einen Apparat an, dessen Einrichtung im Wesentlichen aus Fig. 505 (a. f. S.) ersehen werden kann.

In dem Blechgefäße *A* ist die vordere Wand mit einer Oeffnung versehen, welche durch eine aufgekittete Platte von Spiegelglas verschlossen ist. Durch den Boden dieses Gefäßes dringen zwei in das nämliche Quecksilbergefäß tau-

chende Glasröhren, deren eine B oben geschlossen ist und ein vollständiges Barometer bildet, während die andere B'' mit dem Glasballon C in Verbindung steht, welcher ungefähr 500 Cubikcentimeter Inhalt hat. Von dem Verbindungsrohre zweigt sich bei c ein Rohr ab, welches mit einer Luftpumpe in Verbindung gebracht werden kann. In dem Ballon C ist ein dünnwandiges, mit ausgekochtem Wasser gefülltes Glaskügelchen eingeschlossen. Nachdem der Ballon möglichst ausgetrocknet ist, was dadurch bewirkt wird, daß man die Luft mehrmals mittelst einer Luftpumpe herauszieht und dann dieselbe wieder durch ein Chlorcalciumrohr eintreten läßt, wird er möglichst luftleer gemacht und endlich die Verbindungsröhre zwischen c und der Luftpumpe mittelst des Löthrohrs zugeschmolzen. Die geringe Spannkraft der im Ballon C noch übrigen Luft ergiebt sich aus der Differenz der Höhe der Quecksilberkuppen in den Röhren B und B'', welche mittelst eines Kathetometers abgelesen werden.

Fig. 501.



Das in C enthaltene Glaskügelchen wird nun durch glühende Kohlen gesprengt, welche man von Außen dem Ballon nähert. Sogleich füllt sich der Ballon und die Kammer des Barometers B'' mit Dämpfen, welche die Quecksilberkuppe in B'' je nach der Temperatur mehr oder weniger deprimiren. Die Temperatur, welche im Gefäß A herrscht und welche auch die Temperatur des Wasserdampfes in C ist, wird an dem Thermometer tr abgelesen.

Um Beobachtungen bei Wärmegraden anzustellen, welche die Temperatur der umgebenden Luft übersteigen, wird das Gefäß A mit Wasser gefüllt, und dasselbe mittelst einer untergesetzten Weingeistlampe erwärmt. Für eine bestimmte Größe der Flamme steigt nun die Temperatur des Wassers bis zu einem Grade, auf dem dann das Wasser und der Apparat längere Zeit stehen bleiben, und bei welcher man dann die Ablesungen des Thermometers und der

beiden Barometer *B* und *B''* vornimmt; damit jedoch die Temperatur im ganzen Raume gehörig gleichförmig sei, so daß das Thermometer *tr* auch die Temperatur des Wasserdampfs in *C* angiebt, muß das Wasser in *A* in beständiger Bewegung gehalten werden.

Für Temperaturen unter 0 wird das Gefäß *A* entfernt und der Ballon *C* in ein Becken gesenkt, welches eine entsprechende Kältemischung enthält.

Die folgende Tabelle enthält einige der zahlreichen Beobachtungen, welche Regnault auf diese Weise angestellt hat.

Temperatur.	Spannkraft des Wasserdampfs.
— 32,84° C.	0,28mm
— 12,53	1,61
0,00	4,54
20,51	17,81
* 42,61	63,22
58,62	139,05

Für Temperaturen, welche über 60° hinausgehen, ist diese Methode nicht mehr anwendbar. Um die Spannkraft der Wasserdämpfe für höhere Temperaturen zu ermitteln, brachte Regnault ein Verfahren in Anwendung, welches erst später besprochen werden kann; vorläufig mögen aber hier einige seiner zahlreichen Beobachtungsresultate Platz finden.

Temperatur.	Spannkraft des Wasserdampfs.
* 76,49° C.	306,71mm
* 99,92	757,90
* 125,71	1778,95
153,90	3944,86
* 167,40	5554,83
185,67	8572,42
* 194,42	10344,27
212,20	14868,18
230,50	21127,00

Die in dieser Tabelle angegebenen Temperaturen sind die durch das Luftthermometer gemessenen.

Eine vollständige Zusammenstellung sämmtlicher Arbeiten Regnault's über den Wasserdampf und die damit zusammenhängenden Materien findet man in den Mémoires de l'Institut de France, Tome XI, 1847.

Auch Magnus hat eine sehr genaue Versuchsreihe über die Spannkraft des Wasserdampfs innerhalb der Temperaturen — 20 und + 110° C. angestellt, deren Resultate mit den Regnault'schen sehr gut harmoniren (Pogg. Ann. Bd. LXI).

194 **Graphische und algebraische Darstellung des Spannkraftgesetzes.** Um den Zusammenhang zwischen Temperatur und Spannkraft zu übersehen und die Spannkraft des Wasserdampfs auch für solche Temperaturen zu bestimmen, welche zwischen den Beobachtungstemperaturen liegen, kann man zunächst eine graphische Darstellung anwenden, wie dies in Fig. 506 geschehen ist, wo die Temperaturen als Abscissen, die entsprechenden Spannkräfte als Ordinaten aufgetragen sind. Der Maßstab der Abscissen ist so gewählt, daß eine Länge von 10 Millimetern 20 Grad repräsentirt; bei den Ordinaten entspricht aber eine Länge von 10mm einer Spannkraft, welche dem Drucke einer Quecksilbersäule von 1000mm Höhe entspricht. Die Kurve ist über diejenigen Punkte gelegt, welche den durch ein Sternchen bezeichneten Beobachtungen der beiden letzten Tabellen entsprechen. Die Höhendifferenz zwischen je zwei Horizontallinien unserer Figur entspricht einer Spannkraftdifferenz von einer Atmosphäre.

Um genaue Resultate zu erzielen, ist freilich der Maßstab dieser Figur viel zu klein; Regnault hat seiner Abhandlung solche Spannkraftkurven in sehr großem Maßstabe beigefügt.

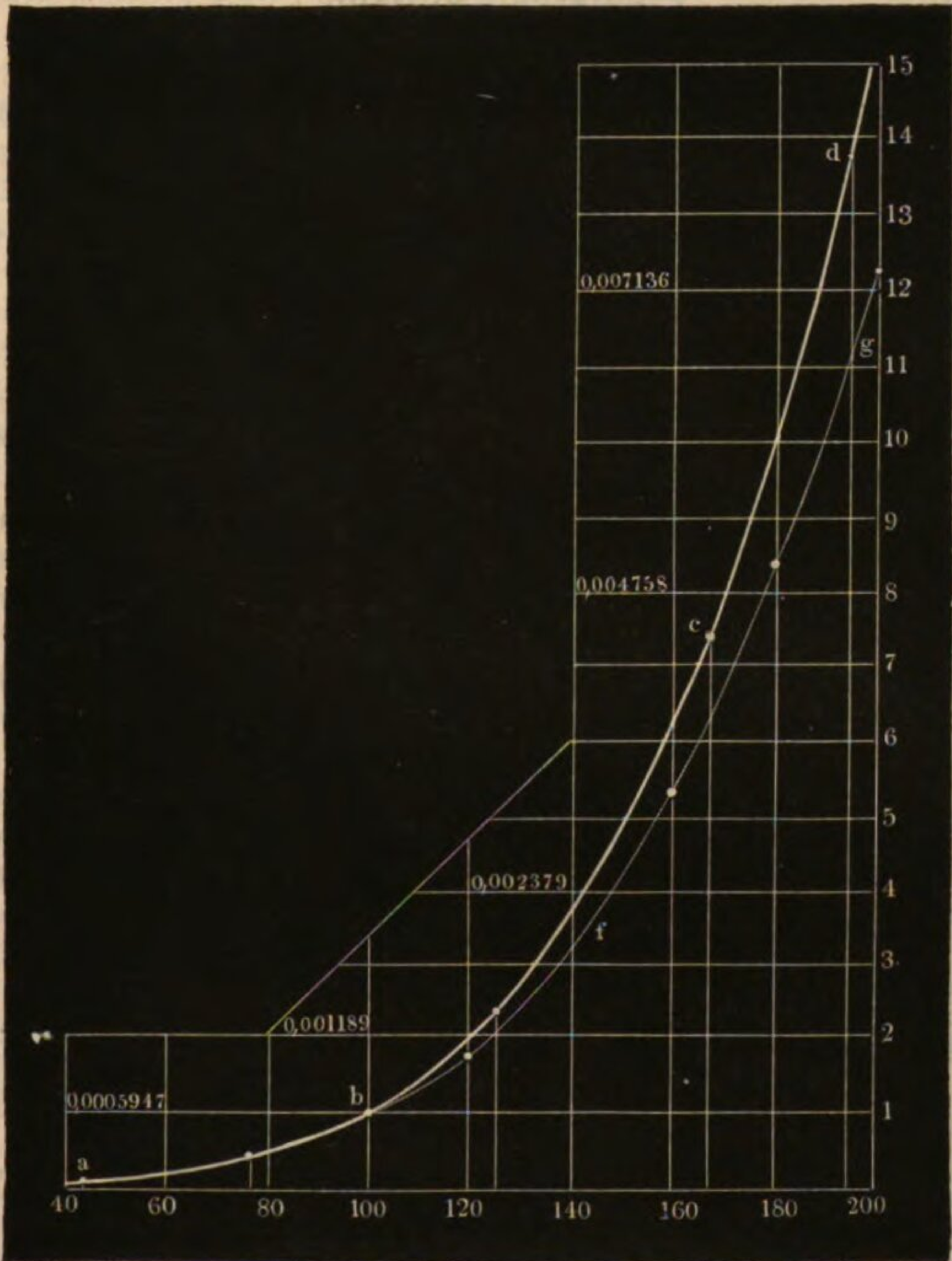
Um aber auch durch Rechnung die Spannkraft des Wasserdampfs für solche Temperaturen bestimmen zu können, welche zwischen den Beobachtungstemperaturen liegen, sind schon über 30 empirische Formeln aufgestellt worden, welche sich bald mit größerer, bald mit geringerer Genauigkeit den Beobachtungen anschließen. Eine ziemlich einfache Beziehung ergiebt sich aus folgender Betrachtung:

Die folgende kleine Tabelle enthält die aus den Versuchen von Dulong und Arago abgeleiteten, nach einer geometrischen Reihe fortschreitenden Spannkräfte des Wasserdampfs nebst den zugehörigen Temperaturen.

Atmosphären.	Temperatur in Graden.	Differenz in Graden.
1	100	
2	121,4	21,4
4	145,4	24
8	172,1	26,7
16	203,6	31,5

Die dritte Columne dieser Tafel enthält die Temperaturdifferenzen, um welche jedes Mal die Temperatur steigen muß, damit die zugehörige Tension

Fig. 506.



der Wasserdämpfe verdoppelt wird. Die Zahlen dieser Columne sind nun sehr nahe Glieder einer geometrischen Reihe, denn die Quotienten je zweier auf einander folgender sind fast gleich; durch sehr unbedeutende Correctionen läßt sich wirklich eine geometrische Reihe aus ihnen bilden. Nehmen wir die Temperaturen 100°, 145,4°, 203,6°, zu welchen die Spannkräfte von 1, 4 und 16 Atmosphären gehören, als absolut genau an, so ist es leicht, die Temperaturen, welche den Spannkräften 2 und 8 Atmosphären entsprechen, so zu berechnen, daß die jedesmaligen Temperaturdifferenzen eine geometrische Reihe bilden.

Dieser Bedingung leisten die in der zweiten Columne der folgenden Tafel enthaltenen berechneten Temperaturen Genüge.

Atmosphären.	Berechnete Temperatur in Graden.	Beobachtete Temperatur in Graden.	Differenz.
1	100	100	0
2	121,292	121,4	— 0,108
4	145,4	145,4	0
8	172,695	172,1	+ 0,595
16	203,6	203,6	0

Wir nehmen also an, daß von 100° ausgehend die Temperatur um 21,292° wachsen müsse, um die Spannkraft zu verdoppeln; sie abermals zu verdoppeln, muß die Temperatur um $21{,}292 \times 1{,}13224$ wachsen. Um die Spannkraft von 4 bis zu 8 Atmosphären zu steigern, muß die Temperatur wieder um $21{,}292 \times 1{,}13224^2$ wachsen u. s. w.

Die Differenzen in der letzten Columne liegen ganz innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler.

Das eben betrachtete Gesetz ist aus Beobachtungen zwischen 100° und 203,6° abgeleitet worden, und es ließ sich deshalb auch erwarten, daß es innerhalb dieser Gränzen sich den Beobachtungen gut anschließe. Es fragt sich nun aber, wie die nach diesem Gesetze berechneten Werthe unter 100° mit der Beobachtung übereinstimmen. Unserer Hypothese zufolge muß die Spannkraft gleich einer halben Atmosphäre werden, wenn die Temperatur von 100° um $\frac{21{,}292}{1{,}13224}$ Grade sinkt. Eine abermalige Temperaturerniedrigung um $\frac{21{,}292}{1{,}13224^2}$ Grad muß die Spannkraft auf $^1/_4$ Atmosphäre reduciren u. s. w. Auf diese Weise sind die Temperaturen der folgenden Tabelle berechnet, welche der Spannkraft $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$ u. s. w. Atmosphäre entsprechen.

Temperatur.	Spannkraft		Spannkraft nach Regnault.	Differenz.
	in Atmosph.	in Millim.		
81,19	$^1/_2$	380	379	+ 1
64,58	$^1/_4$	190	195	— 5
49,91	$^1/_8$	95	102	— 7
36,96	$^1/_{16}$	47,5	49,6	— 2,1
25,54	$^1/_{32}$	23,75	27,3	— 3,5

Man sieht aus dieser Tabelle, daß unsere Hypothese ziemlich gut mit den Werthen übereinstimmt, welche Regnault für die entsprechenden Temperaturen gefunden hat.

Aus unserer Hypothese ergiebt sich folgende Formel:

$$log.\ e = 5{,}58188.\ log.\ (1 + 0{,}0062108\ t),$$

wo e die Spannkraft, t die Anzahl der Grade bezeichnet, um welche die gerade betrachtete Temperatur von 100° abweicht. Für Temperaturen über 100° ist t positiv, unter 100° negativ zu setzen.

Den Beobachtungen von Arago und Dulong entspricht bis zu 4 Atmosphären am besten eine von Tredgold aufgestellte empirische Formel:

$$log.\ e = \frac{23{,}94571\ t}{800 + 3\ t}\ 2{,}2960383,$$

wo e die Spannkraft und t die Temperatur bezeichnet; nach dieser Formel ist die Tabelle auf Seite 545 bis zu 4 Atmosphären berechnet. Ueber 4 Atmosphären stimmt die Formel

$$e = (1 + 0{,}7153\ t)^5$$

besser mit den Versuchen überein, in welchen t die Temperaturen über 100° bezeichnet, wenn man 100° zur Einheit nimmt; für 136° z. B. hat man zu setzen $t = 0{,}36$. Nach dieser ist der Rest jener Tabelle von 4 Atmosphären an berechnet, und zwar noch weit über die Gränzen der Beobachtung hinaus.

Den sämmtlichen Beobachtungen Regnault's schließt sich die Exponentialformel

$$log.\ e = a - b\alpha^x - c\beta^x$$

am besten an, in welcher

$$x = t + 20^0$$

zu setzen ist. Zur Bestimmung der fünf in dieser Formel vorkommenden Constanten, wählte er folgende den Beobachtungen entnommenen zusammengehörigen Werthe von t und e:

$$\begin{aligned} t_1 &= -\ 20^0 & e_1 &= 0{,}91^{mm} \\ t_2 &= +\ 40 & e_2 &= 54{,}91 \\ t_3 &= 100 & e_3 &= 760{,}00 \\ t_4 &= 160 & e_4 &= 4651{,}60 \\ t_5 &= 220 & e_5 &= 17390{,}00 \end{aligned}$$

woraus sich ergiebt

$$\begin{aligned} log.\ \alpha &= 1{,}9940493 \\ log.\ \beta &= 1{,}9983438 \\ log.\ b &= 0{,}1397743 \\ log.\ c &= 0{,}6924351 \\ a &= 6{,}2640348, \end{aligned}$$

nach dieser Formel ist nun die folgende Tabelle berechnet worden.

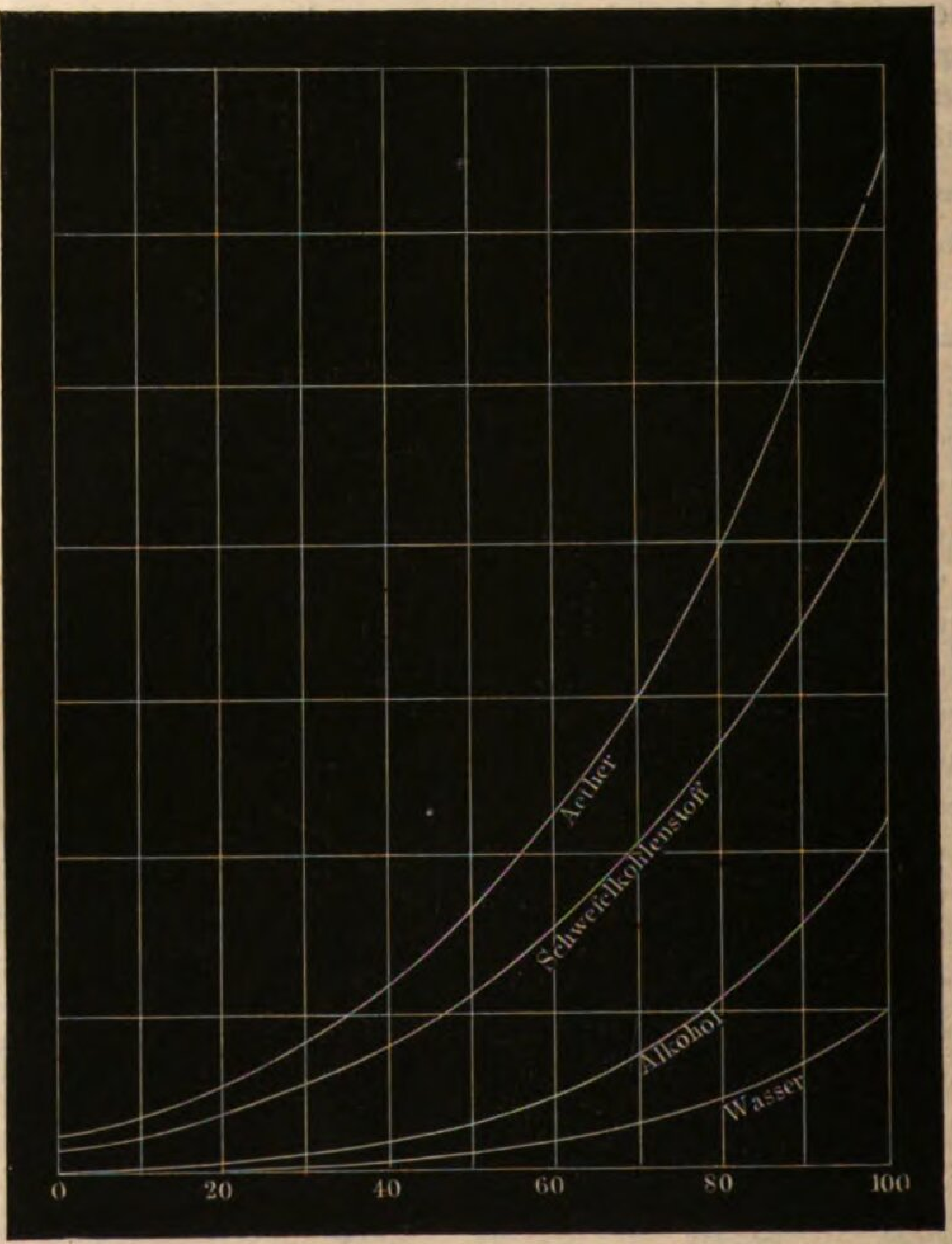
Temperatur.	Spannkraft in Millimetern.	Druck auf ein Quadr.-Cent. in Kilogr.	Temperatur.	Spannkraft in Millimetern.	Druck auf ein Quadr.-Cent. in Kilogr.
— 32°	0,320	0,00043	+ 40°	54,906	0,07465
— 30	0,386	0,00052	45	71,391	0,09706
— 25	0,605	0,00082	50	91,982	0,12505
— 20	0,927	0,00126	55	117,478	0,15972
— 15	1,400	0,00190	60	148,791	0,20323
— 10	2,093	0,00285	65	186,945	0,25417
— 5	3,113	0,00423	70	233,093	0,31692
0	4,600	0,00625	75	288,517	0,39227
+ 1	4,940	0,00671	80	354,643	0,48217
2	5,302	0,00721	85	433,041	0,58877
3	5,687	0,00773	90	525,450	0,71440
4	6,097	0,00829	95	633,778	0,86168
5	6,534	0,00888	100	760,000	1,03330
6	6,998	0,00951	105	906,410	1,23236
7	7,492	0,01019	110	1075,370	1,4621
8	8,017	0,01090	115	1269,410	1,7259
9	8,574	0,01166	120	1491,280	2,02755
10	9,165	0,01246	125	1743,88	2,37098
11	9,792	0,01331	130	2030,28	2,76037
12	10,457	0,01422	135	2353,73	3,20013
13	11,162	0,01518	140	2717,63	3,69490
14	11,908	0,01619	145	3125,55	4,24950
15	12,699	0,01727	150	3581,23	4,86904
16	13,536	0,01840	155	4088,56	5,55881
17	14,421	0,01961	160	4651,62	6,32434
18	15,357	0,02088	165	5274,54	7,17127
19	16,346	0,02222	170	5961,66	8,10547
20	17,391	0,02365	175	6717,43	9,13302
21	18,495	0,02515	180	7546,39	10,2601
22	19,659	0,02673	185	8453,23	11,4930
23	20,888	0,02840	190	9442,70	12,8383
24	22,184	0,03016	195	10519,63	14,3025
25	23,550	0,03202	200	11688,96	15,8923
26	24,988	0,03397	205	12955,66	17,6145
27	26,505	0,03604	210	14324,80	19,4760
28	28,101	0,03821	215	15801,33	21,4835
29	29,782	0,04049	220	17390,36	23,6439
30	31,548	0,04289	225	19097,04	25,9643
35	41,827	0,05687	230	20926,40	28,4515

Spannkraft der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten. Nach 195
den eben besprochenen Methoden läßt sich nun auch die Spannkraft der Dämpfe anderer Flüssigkeiten, z. B. des Weingeistes, des Aethers u. s. w. bestimmen; solche Versuche sind schon früher von Ure, Schmidt, Munke, Marx u. a. gemacht worden, sehr genaue Versuchsreihen der Art hat aber in neuerer Zeit Regnault angestellt (Pogg. Ann. XCIII.), deren Resultate man in der folgenden Tabelle findet.

Temperatur.	Alkohol.	Aether.	Schwefelkohlenstoff.	Chloroform.	Terpentinöl.
— 21°	3,12	—	—	—	—
— 20	3,34	69,2	—	—	—
— 16	—	—	58,8	—	—
— 10	6,50	113,2	79,0	—	—
0	12,73	182,3	127,3	—	2,1
+ 10	24,08	286,5	199,3	130,4	2,3
20	44,0	434,8	298,2	190,2	4,3
30	78,4	637,0	434,6	276,1	7,0
40	134,1	913,6	617,5	364,0	11,2
50	220,3	1268,0	852,7	524,3	17,2
60	350,0	1730,3	1162,6	738,0	26,9
70	539,2	2309,5	1549,0	976,2	41,9
80	812,8	2947,2	2030,5	1367,8	61,2
90	1190,4	3899,0	2623,1	1811,5	91,0
100	1685,0	4920,4	3321,3	2354,6	134,9
110	2351,8	6249,0	4136,3	3020,4	187,3
116	—	7076,2	—	—	—
120	3207,8	—	5121,6	3818,0	257,0
130	4331,2	—	6260,6	4721,0	347,0
136	—	—	7029,2	—	—
140	5637,7	—	—	—	462,3
150	7257,8	—	—	—	604,5
152	7617,3	—	—	—	—
160	—	—	—	—	777,2
170	—	—	—	—	989,0
180	—	—	—	—	1225,0
190	—	—	—	—	1514,7
200	—	—	—	—	1865,6
210	—	—	—	—	2251,2
220	—	—	—	—	2690,3
222	—	—	—	—	2778,5

Fig. 507 stellt die nach dieser Tabelle construirte Spannkraftscurve für Aether, Schwefelkohlenstoff und Alkohol, sammt der des Wassers dar.

Fig. 507.



Die Spannkraft des Dampfes, welcher sich aus irgend einer kochenden Flüssigkeit bildet, ist immer dem Drucke gleich, welcher auf der Oberfläche der Flüssigkeit lastet; denn wenn sie geringer wäre, so könnte der Dampf nicht in Gestalt von Blasen im Inneren der Flüssigkeit bestehen; und wenn sie stärker wäre, so müßte sich der Dampf schon früher gebildet haben. Für den Siedepunkt haben also die Dämpfe aller Flüssigkeiten gleiche Spannkraft. Dalton glaubte nun, daß für eine gleiche Anzahl Grade über oder unter dem Siedepunkte die Spannkräfte noch immer gleich seien. Nach dem Dalton'schen Gesetze wäre es also nur nöthig, die Tafel für die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes zu haben und den Siedepunkt einer Flüssigkeit zu kennen,

um die Spannkraft ihrer Dämpfe für alle Temperaturen zu ermitteln. Der Siedepunkt des Alkohols z. B. ist 78°; die Spannkraft des Alkoholdampfes bei 110°, also 42 Grad über dem Siedepunkt, müßte demnach gleich sein der Spannkraft des Wasserdampfs bei 142°, welche der Tabelle auf Seite 552 zufolge 2810mm ist. Regnault's Versuche zeigen aber, daß die Spannkraft des Alkoholdampfes bei 110° erst 2352mm beträgt, also 458mm geringer ist, als man nach dem Dalton'schen Gesetze erwarten sollte, welches also nur als eine erste rohe Annäherung betrachtet werden kann.

Ueber die Spannkraft einiger condensirten Gase hat Bunsen Versuche angestellt, deren Resultate in folgender Tabelle enthalten sind.

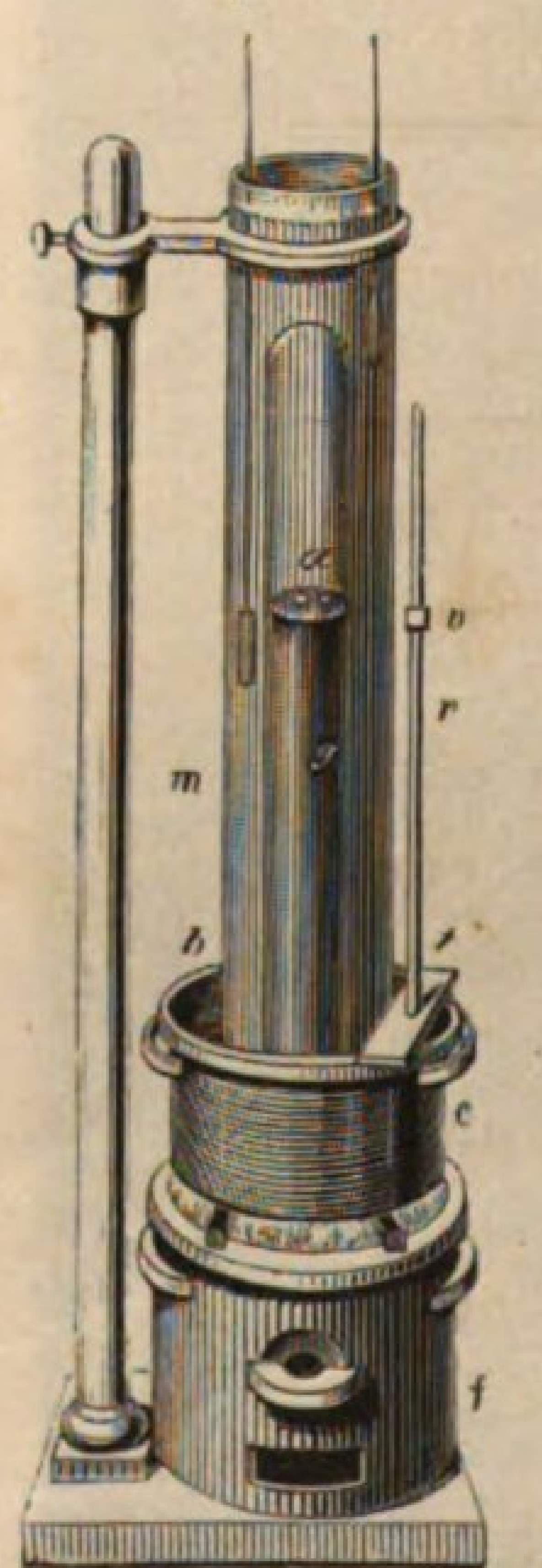
Temperatur.	Schweflige Säure.	Cyangas.	Ammoniak.
— 37	—	—	749mm
— 20	—	800mm	—
— 15	—	1100	—
— 10	780mm	1410	—
— 5	1110	1730	3040
0	1480	2070	3610
+ 5	1910	2440	4260
10	2390	2880	4980
15	2930	3330	5780
20	3540	3800	6674
25	4200	—	

Wegen des äußerst hohen Siedepunktes des Quecksilbers ist die Spannkraft seiner Dämpfe bei gewöhnlicher Temperatur äußerst gering; bei 25° C. beträgt sie kaum $^1/_{50}$, bei 100° C. nur ungefähr $^1/_2$ Millimeter.

Dichtigkeit des Wasserdampfes. Unter allen Mitteln, welche man angewendet hat, um die Dichtigkeit des Wasserdampfes zu bestimmen, scheint das von Gay-Lussac angegebene Verfahren das einfachste und strengste zu sein; es besteht darin, direct das Gewicht, das Volumen, die Temperatur und die Spannkraft einer gegebenen Quantität Dampf zu suchen. Der von ihm angewendete Apparat ist Fig. 508 (a. f. S.) dargestellt. Auf einem Ofen *f* steht ein gußeisernes Gefäß *c*, welches Quecksilber enthält, *g* ist eine graduirte Röhre von 3 bis 4 Decimeter Länge, welche in das Quecksilber des Gefäßes *c* eingetaucht ist. *m* ist ein Mantel von Glas, welcher mit einer geeigneten Flüssigkeit vollgegossen wird, so daß die Röhre vom Niveau des Quecksilbers in *c* an bis zur Spitze mit dieser Flüssigkeit umgeben ist. Durch das Brett *t*, welches auf dem abgeschliffenen, genau horizontalen Rande des Gefäßes *c* aufliegt, 196

geht ein getheilter Stab *r* vertical hindurch. Vor dem Eintauchen in das Gefäß *c* muß die Röhre *g* mit Quecksilber gefüllt werden, so daß nach dem Umkehren und nach dem Eintauchen in das Quecksilber des Gefäßes *c* sich keine Luftblase an der Spitze der Röhre *g* zeigt. Man läßt nun ein Glaskügelchen, welches, in eine feine Spitze ausgezogen, fast ganz mit Wasser gefüllt und dann zugeschmolzen worden ist, in der Röhre *g* in die Höhe steigen. Wenn man glühende Kohlen in den Ofen bringt, so wird Alles erwärmt. Das Wasser in dem zugeschmolzenen Glaskügelchen dehnt sich aus und zersprengt seine Hülle. Sogleich bilden sich Wasserdämpfe im oberen Theile der Röhre *g*, und das Quecksilber sinkt. Man steigert die Temperatur so lange, bis alles Wasser vollständig verdampft ist, und erhält dann das Ganze eine Zeit lang auf einer constanten Temperatur, während man die nöthigen Beobachtungen macht, nämlich

Fig. 508.



$\frac{1}{10}$

1. Wenn alles Wasser verdampft ist, kennt man genau das Gewicht des Dampfes, denn das Glaskügelchen muß man vorher leer, dann mit Wasser gefüllt gewogen haben; die Differenz dieser beiden Gewichte ist das Gewicht des Wassers, also auch das Gewicht des Dampfes, welcher nun im oberen Theile der Röhre *g* sich befindet.

2. Man beobachtet auf der Röhre die Anzahl der Theilstriche, welche der Dampf einnimmt. Da der Raum zwischen je zwei Theilstrichen der Röhre bei der Temperatur von 0° bekannt ist, so kann man leicht mit Berücksichtigung der Ausdehnung des Glases die Capacität zwischen zwei Theilstrichen für die Temperatur berechnen, bei welcher alle Beobachtungen gemacht wurden. Auf diese Weise bestimmt man das Volumen des Dampfes.

3. Zweckmäßig angebrachte Thermometer geben die Temperatur der Flüssigkeit in der Hülle und des Dampfes in der Röhre an.

4. Die Spannkraft des Dampfes endlich beobachtet man mit Hülfe des getheilten Stabes *r*. Man schiebt diesen Stab so weit herunter, daß sein unteres Ende eben den Quecksilberspiegel im Gefäß *c* berührt, und dann rückt man den Schieber *v* genau in die Höhe der Quecksilberkuppe in der Röhre, so daß also die Quecksilberkuppe und der untere Rand des Schiebers in einer horizontalen Linie. liegen. Die Höhe des Stabes von unten bis zu dem Schieber giebt die Höhe der Quecksilbersäule in der Röhre. Diese Höhe auf 0° reducirt und von dem gleichfalls auf 0° reducirten Barometerstande abgezogen, giebt die Spannkraft des Dampfes. Um sicher zu sein, daß alles Wasser vollständig verdampft ist, muß man so weit erwärmen, daß der Dampf für diese

Temperatur nicht mehr gesättigt ist, daß also die beobachtete Spannkraft geringer ist als das Maximum der Spannkraft für die beobachtete Temperatur.

Man kennt nun das Gewicht eines gegebenen Volumens Dampf, welcher bei bekannter Temperatur einen bekannten Druck ausübt, und kann danach leicht berechnen, wie viel ein Cubikcentimeter dieses Dampfes wiegt. Man kann aber nun auch leicht berechnen, wie viel ein Cubikcentimeter Luft bei demselben Drucke und bei derselben Temperatur wiegt. Ist nun das Gewicht gleicher Volume Luft und Wasserdampf bei gleicher Temperatur und gleichem Drucke bekannt, so kann man leicht das Verhältniß der Dichtigkeit des Wasserdampfes zur Dichtigkeit der Luft bestimmen. Nach Gay-Lussac's Versuchen ist die Dichtigkeit des Wasserdampfes 0,625 oder $^5/_8$ von der der Luft.

Nimmt man das Wasser zur Einheit, so ist das specifische Gewicht der atmosphärischen Luft von 0° und unter einem Drucke von 760^{mm} gleich 0,001299. Bei gleichem Drucke und einer Temperatur von 100° ist demnach das specifische Gewicht der Luft $\frac{0,001299}{1,365} = 0,0009516$, das specifische Gewicht des gesättigten Wasserdampfes von 100° ist demnach

$$0,0009516 \;.\; ^5/_8 = 0,0005947.$$

Da man das Volumen findet, welches ein Körper einnimmt, wenn man sein absolutes Gewicht durch sein specifisches Gewicht dividirt (Bd. I, S. 16) so ist demnach der Raum, welchen 1 Gramm Wasserdampf von 100° und 760^{mm} Spannkraft einnimmt, gleich

$$\frac{1}{0,00095947} = 1681,5 \text{ Cubikcentimeter.}$$

Der gesättigte Wasserdampf von 100° ist also nahezu 1700mal weniger dicht als Wasser, oder mit anderen Worten, 1 Volumen Wasser liefert 1700 Volume gesättigten Wasserdampf von 100°.

Zunahme der Dichtigkeit des gesättigten Dampfes bei wachsender Temperatur. 197 Wenn die Temperatur eines Dampfkessels von 100° auf 120° gesteigert wird, so wächst die Spannkraft des eingeschlossenen Dampfes von 760 auf 1491 Millimeter. Diese Zunahme der Spannkraft hat einen zweifachen Grund.

Die Temperaturerhöhung nämlich würde, wenn sie nur auf den schon bei 100° gebildeten Dampf wirken könnte, nur eine Steigerung der Spannkraft von 760 auf 786 Millimeter bewirken, weil der Dampf sich bei jeder Temperaturerhöhung in gleicher Weise auszudehnen strebt, wie ein Gas. Die weitere Steigerung der Spannkraft kann also nur daher rühren, daß sich in dem Dampfraume des Kessels außer dem schon bei 100° vorhandenen Dampf noch neuer Dampf bildet, daß also die Dichtigkeit des gesättigten Dampfes mit der Temperatur wächst.

Wenn der in einem abgeschlossenen Raume befindliche Dampf noch nicht das Maximum der Spannkraft hat, welches der in diesem Raume herrschenden Temperatur entspricht, so ist in demselben auch noch nicht so viel Dampf vor-

handen, als er aufnehmen könnte, der Dampf ist noch nicht gesättigt, es ist **überhitzter Dampf**.

Wenn man den für eine bestimmte Temperatur gesättigten Dampf in einem abgeschlossenen Raume, in welchem sich keine Flüssigkeit mehr befindet, welche neuen Dampf liefern könnte, noch weiter erwärmt, so geht er nothwendig in den Zustand des überhitzten Dampfes über. Ein solcher überhitzter Dampf verhält sich ganz wie ein Gas, er läßt sich also auch durch Compression verdichten, bis er das seiner Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft erreicht hat.

Nehmen wir an, daß der nicht gesättigte Dampf dem **Mariotte'schen** Gesetze folgt (eine Annahme, welche ganz in der Nähe des Sättigungspunktes nicht mehr streng richtig zu sein scheint), und daß der schon gebildete Dampf bei fernerer Erwärmung sich ganz nach denselben Gesetzen auszudehnen strebt wie die Luft, so muß das Verhältniß zwischen der Dichtigkeit des Wasserdampfes und der Dichtigkeit der atmosphärischen Luft stets dasselbe bleiben, d. h. die Dichtigkeit des Wasserdampfes muß stets $^5/_8$ von der Dichtigkeit der Luft sein, wenn dieselbe die gleiche Temperatur und die gleiche Spannkraft hat. Unter dieser Voraussetzung kann man die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfes für jede Temperatur in gleicher Weise berechnen, wie es oben für 100° geschehen ist.

Da die Dichtigkeit der Luft für 0° und 760^{mm} gleich 0,001299 ist, so ist die Dichtigkeit d derselben für den Druck p und die Temperatur t gleich

$$d = \frac{0{,}001299}{1 + 0{,}00365\,t} \cdot \frac{p}{760}.$$

Die Dichtigkeit des Wasserdampfs, dessen Spannkraft p und dessen Temperatur t ist, ist demnach

$$D = {}^5/_8 \cdot \frac{0{,}001299}{1 + 0{,}00365\,t} \cdot \frac{p}{760}.$$

$$D = 0{,}0000010681\ \frac{p}{1 + 0{,}00365\,t}.$$

Nach dieser Formel ist die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfs in der dritten Columne der folgenden Tabelle für die in der ersten Columne angegebenen Temperaturen berechnet.

Temperatur.	Spannkraft.	Dichtigkeit.	Volumen.
— 10° C.	2,1	0,00000232	431607
— 5	3,1	325	307546
0	4,6	491	203521
+ 5	6,5	682	146628
10	9,2	0,00000945	105830
15	12,7	1289	77572
20	17,4	1731	57767
25	23,5	2300	43473
30	31,5	0,00003044	33613
35	41,8	3958	25264
40	54,9	5118	19539
50	92,0	8314	12030
60	148,8	0,00013038	7670
70	233,0	19378	5160
80	354,6	29315	3411
90	525,4	42258	2366
100	760,0	0,00059470	1681
120	1491,3	105764	945
160	4651,6	313690	317
180	7646,4	492866	203
200	11688,9	721669	140
230	20926,4	0,01215790	82

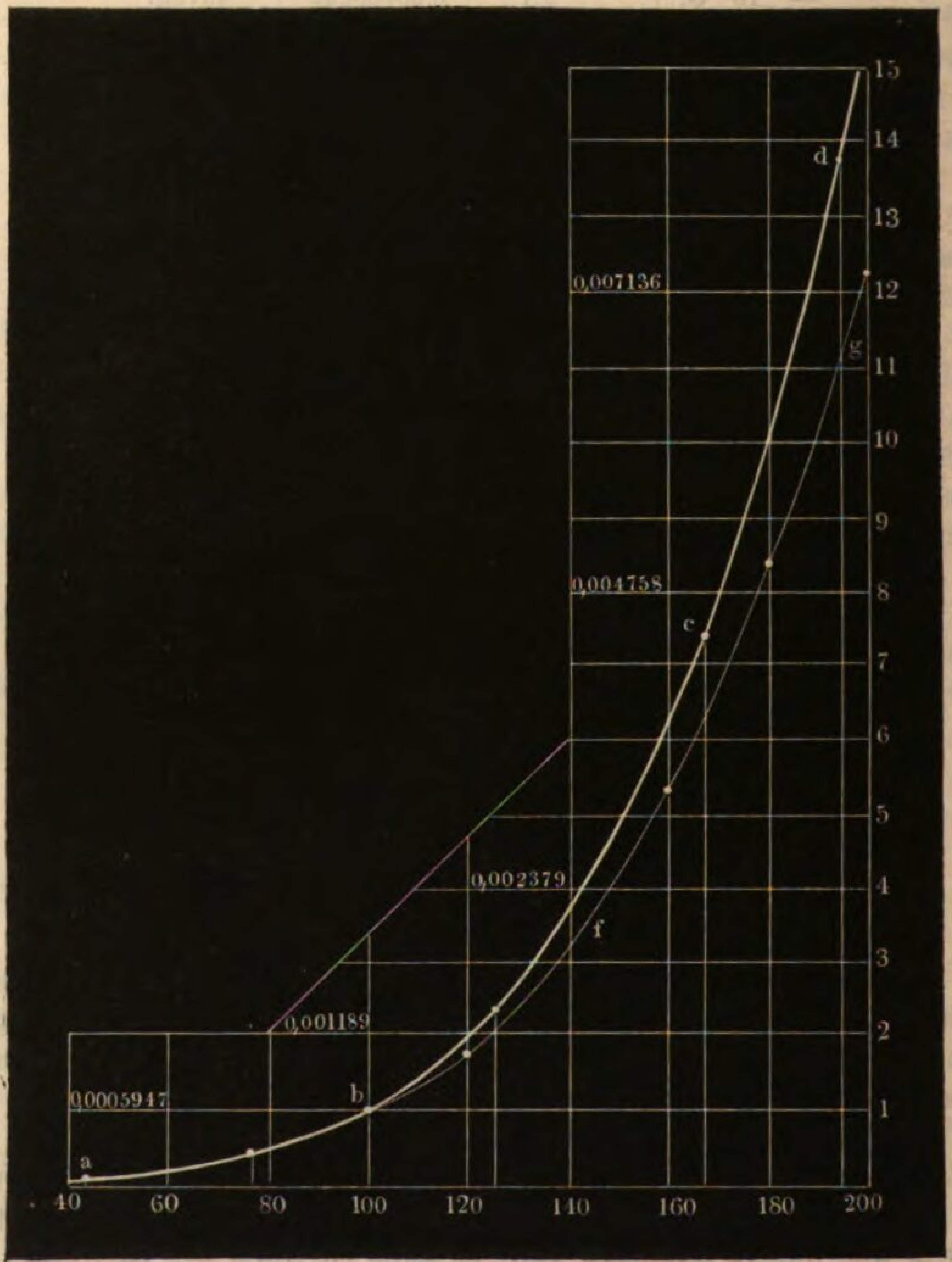
Die Zahlen der letzten Columne geben an, wie viel Cubikcentimer 1 Gramm des gesättigten Wasserdampfes bei den in der ersten Columne angegebenen Temperatur einnimmt. Diese Zahlen werden gefunden, indem man die danebenstehenden Zahlen der Dichtigkeitscolumne in 1 dividirt.

Die Betrachtung der dritten Columne der obigen Tabelle zeigt uns, wie rasch die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfes zunimmt, wenn die Temperatur steigt. Um dies noch anschaulicher zu machen, ist die Zunahme der Dichtigkeit in Fig. 509 (a. f. S.) von 100° an durch die Curve *bfg* dargestellt, und zwar so, daß dieselbe Länge, welche als Ordinate aufgetragen, eine Spannkraft von 760^{mm} repräsentirt, für diese Curve eine Dichtigkeit 0,0005947 darstellt, daß also der Höhenunterschied zwischen zwei auf einander folgenden Horizontallinien einem Dichtigkeitsunterschied 0,0005947 entspricht.

Aus der Betrachtung obiger Tafeln und der Fig. 509 sieht man, wie rasch bei steigender Temperatur die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfes wächst; bei fortwährender Temperaturerhöhung muß man also zu einem Punkte kommen, wo die Dichtigkeit des Dampfes fast so groß ist, wie die des Wassers.

Dies ist auch durch die merkwürdigen Versuche von Cagniard de La Tour bestätigt worden. Eine sehr starke Glasröhre wurde bis zu $^1/_4$ ihres Inhalts mit Wasser gefüllt und, nachdem alle Luft ausgetrieben war, zugeschmolzen.

Fig. 509.



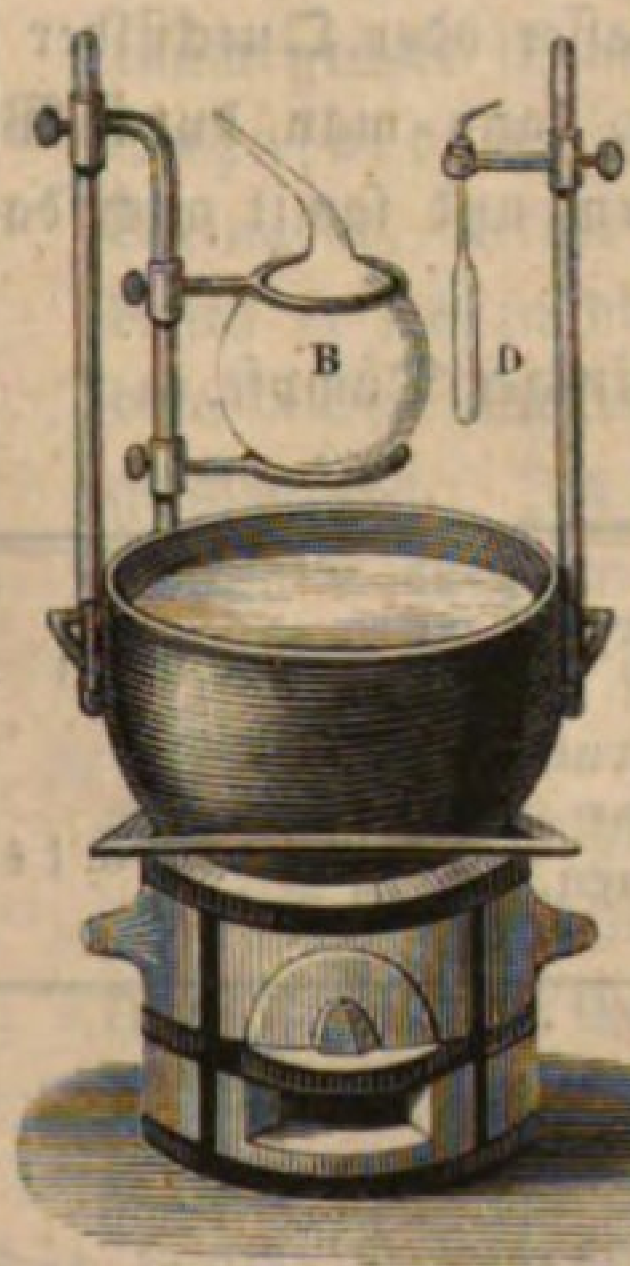
Wenn nun solche Röhren einer immer steigenden Temperatur ausgesetzt wurden, so schien zuletzt alles Wasser verschwunden, die Röhre schien leer zu sein. Sobald die Temperatur etwas sank, erschien die Flüssigkeit wieder.

Bei einer Temperatur, welche dem Schmelzpunkte des Zinks nahe liegt, nimmt der gesättigte Wasserdampf einen ungefähr viermal so großen Raum ein als im flüssigen Zustande; er greift dabei das Glas an und nimmt ihm durch theilweise Auflösung seiner Bestandtheile seine Durchsichtigkeit. Dem zu-

folge müßte ungefähr bei der Temperatur der Rothglühhitze die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfes der des Wassers selbst gleich sein.

Dichtigkeit der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten. Der Apparat, welcher von Gay-Lussac zur Bestimmung der Dichtigkeit der Wasserdämpfe angewendet wurde, ist auch noch für einige andere Flüssigkeiten anwendbar, er kann jedoch nicht in allen Fällen gebraucht werden. Ein anderes Verfahren hat Dumas angegeben, es wird in chemischen Laboratorien fast durchgängig angewendet, um die Dichtigkeit von Dämpfen zu bestimmen. In einen Ballon, welcher in eine feine Spitze ausgezogen ist, Fig. 510, bringt man eine hinreichende Menge der zu untersuchenden Flüssigkeit. Der Ballon wird nun, je nachdem der Siedepunkt der Flüssigkeit höher oder tiefer liegt, in einem Bade von Wasser, Oel oder Chlorzink erhitzt. Der Ballon wird an einem Halter befestigt und durch diesen im Bade festgehalten. Durch Erhitzung des Bades bringt man die Flüssigkeit bald ins Kochen, die Dämpfe strömen mit Gewalt aus der feinen Spitze hervor. Man erhält das Bad unterdessen auf einer Temperatur, welche die des Siedepunktes der Flüssigkeit im Ballon ungefähr um 30° übersteigt. Die Temperatur des Bades wird an einem Thermometer abgelesen, welches auf die dargestellte Weise befestigt ist. Sobald alle Flüssigkeit verdampft ist, was man daran sieht, daß das Ausströmen des Dampfes aus der feinen Spitze aufhört, schmilzt man diese vor dem Löthrohre zu. In dem Augenblicke des Zuschmelzens notirt man sich den Stand des Thermometers im Bade und den Barometerstand. 198

Fig. 510.



$\frac{1}{10}$

Der nun mit Dampf gefüllte Ballon wird gewogen, nachdem man früher schon denselben, mit trockener Luft gefüllt, gewogen hatte. Die Differenz dieser beiden Wägungen, die wir mit P bezeichnen wollen, giebt an, wie viel der im Ballon enthaltene Dampf mehr wiegt als die trockene Luft, die ihn vorher füllte. Das Gewicht dieser Luftmenge aber kann man berechnen, wenn man das Volumen V des Ballons kennt. Es ist nämlich Vn, wenn n das Gewicht von 1 Cubikcentimeter trockener Luft für die Temperatur und den Barometerstand bezeichnet, bei welchem die erste Wägung vorgenommen wurde, V aber in Cubikcentimetern ausgedrückt ist. Das Gewicht des Dampfes im Ballon ist demnach $P + Vn$.

Um aber die Dichtigkeit des Dampfes zu erhalten, muß man sein absolutes Gewicht durch das Gewicht eines gleichen Volumens Luft von gleicher Temperatur und gleicher Tension dividiren. Bezeichnen wir mit n' das Gewicht

von 1 Cub.-Cent. trockener Luft für die Temperatur und den Barometerstand, welche man im Augenblicke des Zuschmelzens der Spitze ablas, so ist Vn' das Gewicht einer Luftmenge von dem Volumen, der Temperatur und der Tension, welche der Dampf im Ballon in dem Augenblicke hatte, in welchem die Spitze zugeschmolzen wurde. Das specifische Gewicht des Dampfes ist demnach

$$s = \frac{P + Vn}{Vn'},$$

wenn das der Luft gleich 1 gesetzt wird.

Um das Volumen des Ballons zu bestimmen, taucht man die zugeschmolzene Spitze des Ballons in Wasser oder Quecksilber und bricht sie dann ab. Da sich die Dämpfe während des Erkaltens verdichtet haben, so ist im Ballon ein Vacuum entstanden, er wird sich also mit Wasser oder Quecksilber füllen. Die Menge der Flüssigkeit, welche der Ballon faßt, kann man durch Wägung oder durch Messung in graduirten Röhren bestimmen, und somit auch das Volumen des Ballons ermitteln.

Die folgende Tabelle enthält die Dichtigkeit einiger Dämpfe.

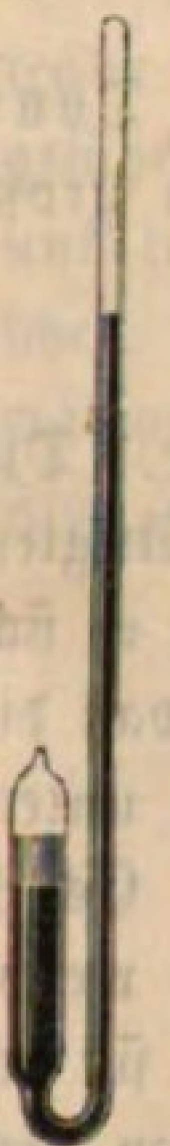
Dampf von	Beobachtete Dichtigkeit.	Gewicht von 1 Liter bei 0° u. einem Druck von 760mm in Grammen.	Namen der Beobachter.
Zinnchlorid	9,200	11,051	Dumas.
Jod	8,716	10,323	»
Titanchlorid	6,856	8,881	»
Quecksilber	6,976	9,062	»
Arsenikchlorür	6,301	8,185	»
Chlorkiesel	5,939	7,715	»
Jodwasserstoffäther . . .	5,475	7,112	Gay-Lussac.
Terpentinöl	5,013	6,512	»
Phosphorchlorür	4,875	6,353	Dumas.
Arsenikwasserstoff	2,695	3,502	»
Schwefelkohlenstoff . . .	2,645	3,436	Gay-Lussac.
Schwefeläther	2,586	3,395	»
Salzsäureäther	2,219	2,883	Thénard.
Alkohol	1,613	2,096	Gay-Lussac
Blausäure	0,948	1,231	»
Wasser	0,623	0,810	»

In Beziehung auf die dritte Columne dieser Tafel ist noch eine Erläuterung nöthig. Sie führt die Ueberschrift »Gewicht von 1 Liter bei 0° und

einem Druck von 760^{mm} in Grammen«. Diese Ueberschrift enthält aber einen Widerspruch, denn da der Siedepunkt aller dieser Flüssigkeiten über 0° liegt, so kann die Spannkraft aller dieser Dämpfe bei 0° gar nicht 760^{mm} betragen. Diese Columne ist jedoch so zu verstehen, daß sie das Gewicht von 1 Liter angiebt, wie es sein würde, wenn man den gesättigten Dampf von 760^{mm} Spannkraft bei unverändertem Druck auf 0° erkalten könnte, ohne daß ein Theil der Dämpfe sich als Flüssigkeit ausscheidet, kurz wenn der Dampf bei dieser Erkaltung auf 0° sich gerade wie ein permanentes Gas verhielte.

Die Dichtigkeit der gesättigten Dämpfe aller Flüssigkeiten wächst mit der Temperatur. Es folgt daraus, daß bei hinlänglich gesteigerter Temperatur eine jede Flüssigkeit in einem Raume verdampft, welcher kaum größer ist als der, welchen die Flüssigkeit zuvor selbst einnahm. Cagniard de La Tour hat in dieser Beziehung Versuche mit Weingeist, Aether und Schwefelkohlenstoff gemacht. Der Apparat, dessen er sich zu diesen Versuchen bediente, ist der Fig. 511 abgebildete. Der längere Schenkel sowohl wie der kürzere waren oben zugeschmolzen. Im längeren befand sich über dem Quecksilber trockene Luft, im kürzeren die Flüssigkeit. Der Durchmesser des längeren Schenkels betrug nur 1^{mm}, der des kürzeren 5^{mm}. Die Glaswände waren sehr dick, so daß sie einen starken Druck aushalten konnten. Die Spannkraft der Dämpfe, welche sich bei der Erwärmung im kürzeren Schenkel bildeten, wurde durch die Differenz der Quecksilberkuppen und die Compression der Luft im längeren Schenkel bestimmt. Beim Versuche wurde der untere Theil des Apparates in ein Oelbad gesenkt.

Fig. 511.



Das völlige Verschwinden der Flüssigkeit erfolgte unter folgenden Umständen.

	Temperatur des Verschwindens.	Volumen des Dampfes im Vergleich zu dem der Flüssigkeit.	Spannkraft der Dämpfe in Atmosphären.
Alkohol	259	3	119
Aether	200	2	37
Schwefelkohlenstoff	275	2	78

Diese Versuche beweisen unwiderleglich, daß die Dämpfe bei einer starken Verdichtung nicht mehr dem Mariotte'schen Gesetze folgen, wie wir dies bei der Berechnung der Tabellen auf S. 559 u. 562 angenommen hatten. Aus der Tabelle auf voriger Seite sehen wir, daß 1 Liter Aetherdampf bei einer Tension von einer Atmosphäre 3,39 Gramme wiegt. Nach den Versuchen von

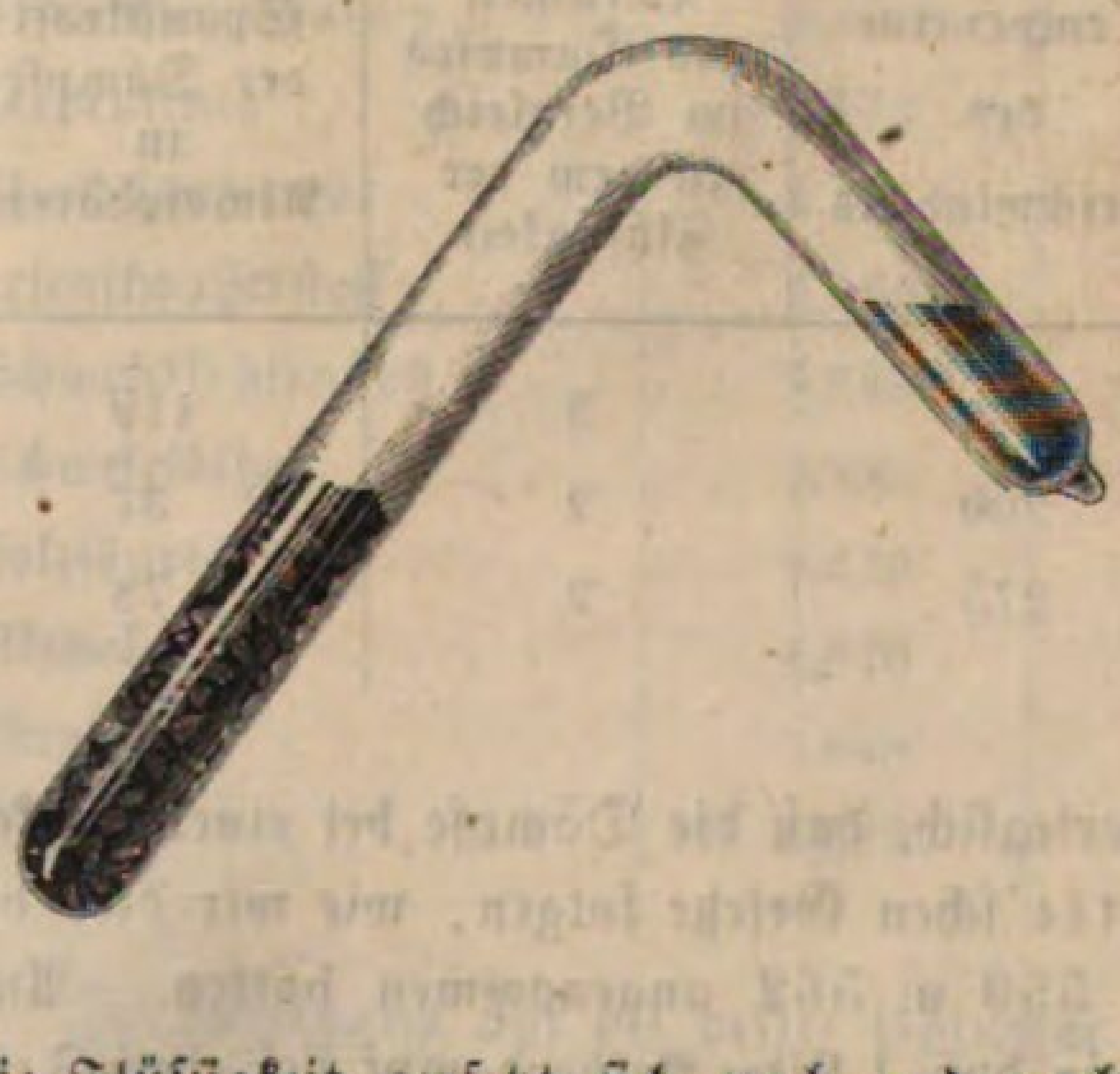
Cagniard de La Tour hat der gesättigte Aetherdampf bei 200° eine Tension von 37 Atmosphären; wenn also der Aetherdampf stets dem Mariotte'schen Gesetze folgte, so dürfte bei dieser Temperatur seine Dichtigkeit nicht ganz bis auf das 37fache gestiegen sein; 1 Liter Aetherdampf von einer Spannkraft von 37 Atmosphären könnte demnach nicht mehr als 37 × 3,39, also nicht mehr als 125 Gramme wiegen. Wir sehen aber, daß der gesättigte Aetherdampf von 200° halb so dicht ist als der Aether selbst, 1 Liter dieses Dampfes wiegt also 358 Gramme, da 1 Liter Aether 715,5 Gramme wiegt. Die Dichtigkeit ist also fast dreimal so groß, als man hätte erwarten sollen. Aetherdampf von der bei 200° beobachteten Dichtigkeit müßte nach dem Mariotte'schen Gesetze eine Spannkraft von 3 × 37 Atmosphären haben.

Wenn man auch zugiebt, daß die Versuche von Cagniard de La Tour nicht ganz genau sind, so sind doch diese Differenzen so außerordentlich groß, daß man sie unmöglich Beobachtungsfehlern zuschreiben kann.

199 **Condensation der Dämpfe und Flüssigmachen der Gase.** Die Dämpfe verdichten sich durch Druck und Erkaltung. Nur im ungesättigten Zustande kann ein Dampf comprimirt oder erkaltet werden, ohne daß er sich theilweise in Flüssigkeit verwandelt. Man hat schon lange vermuthet, daß die sogenannten permanenten Gase sich nur dadurch von den Dämpfen unterscheiden, daß sie noch weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt sind. Es ist zuerst H. Davy und Faraday gelungen, solche Gase zu condensiren, welche man bis dahin für permanent gehalten hatte. Das Verfahren, dessen sie sich bedienten, bestand darin, die Gase in einer gebogenen starken vollkommen verschlossenen Glasröhre zu entwickeln. Die Gase condensiren sich dann durch ihren eigenen Druck. Ein Beispiel wird dies klar machen.

Man bringe in eine starke Glasröhre etwas Cyanquecksilber, schmelze die Röhre zu und biege sie, wie Fig. 512 zeigt. Wenn man nun das längere Ende dieser Röhre, in welchem sich das Cyanquecksilber befindet, mittelst einer Spirituslampe vorsichtig erwärmt, so bildet sich Cyangas, welches sich am anderen Ende verdichtet, wenn man dasselbe in kaltes Wasser eintaucht.

Fig. 512.



Um Schwefelwasserstoffgas zu verdichten, füllt man ein starkes Glasrohr ungefähr bis auf $^1/_3$ Inhalts mit Doppeltschwefelwasserstoff (HS_2), einer gelblichen ölartigen Flüssigkeit, und schmilzt es dann vor dem Löthrohre zu. Die Flüssigkeit zersetzt sich nach und nach von selbst in Schwefel, welcher in schönen durchsichtigen Krystallen sich ausscheidet, und Schwefelwasserstoffgas,

welches, weil es nicht entweichen kann, durch seinen eigenen Druck condensirt wird und als eine klare wasserhelle Flüssigkeit über den Schwefelkrystallen schwimmt.

Auch schweflige Säure, Chlor, Ammoniak, Salzsäure, Kohlensäure, salpetrige Säure hat man durch ähnliche Verfahrungsarten flüssig gemacht. Viele andere Gase, z. B. atmosphärische Luft, Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff u. s. w. hat man bisher vergebens zu condensiren versucht.

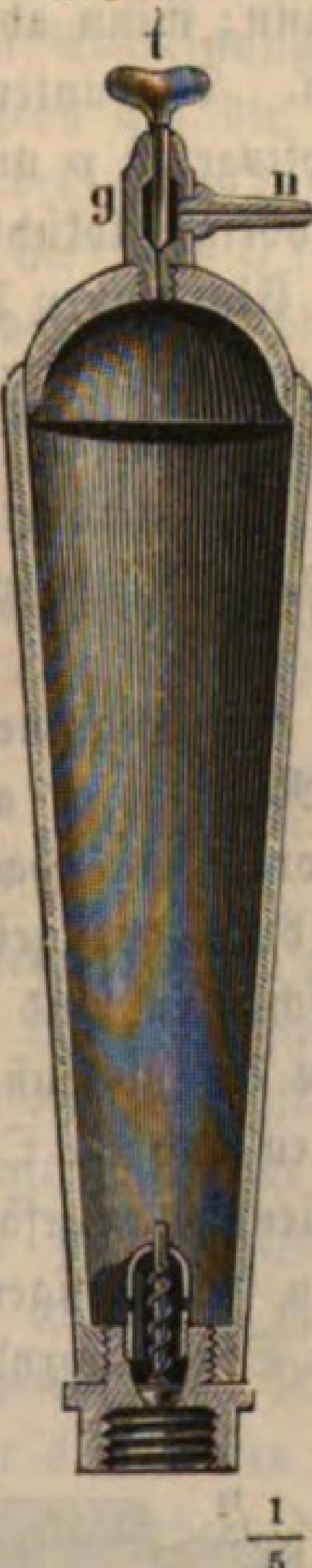
Nach den Versuchen von Thilorier hat der Dampf der flüssigen Kohlensäure bei 0° eine Spannkraft von 36, bei 30° aber schon eine Spannkraft von 73 Atmosphären.

Thilorier hat zuerst einen Apparat construirt, um eine ziemlich bedeutende Menge Kohlensäure zu condensiren; die Anwendung desselben ist aber gefährlich, indem er nicht die nöthigen Garantien gegen Explosionen bietet; und in der That sind schon mehrere Unglücke durch Platzen des Thilorier'schen Apparates entstanden. Natterer in Wien hat aber einen sehr zweckmäßigen, ganz sicheren Apparat zur Verdichtung der Kohlensäure, welcher in Fig. 513 abgebildet ist, construirt; *l* ist ein Rohr, welches dem zur Ladung

Fig. 513.



Fig. 514.



einer Windbüchse dienenden Rohre entspricht. Während das Rohr, welches zum Laden der Windbüchse dient, am unteren Ende eine Oeffnung hat, durch welche die äußere Luft eintritt, so ist hier eine Oeffnung, an welcher sich ein Schlauch *s* ansetzt, der zu einem mit Kohlensäure gefüllten Gasometer führt. In unserer Figur ist nun dieser Schlauch, aber nicht das Gasometer dargestellt. Man kann ein Gasometer von beliebiger Form anwenden. Es versteht sich von selbst, daß zwischen dem Gasometer und dem Verdichtungsapparate eine Chlorcalciumröhre eingeschaltet werden muß, damit das Gas von Wasserdampf befreit wird.

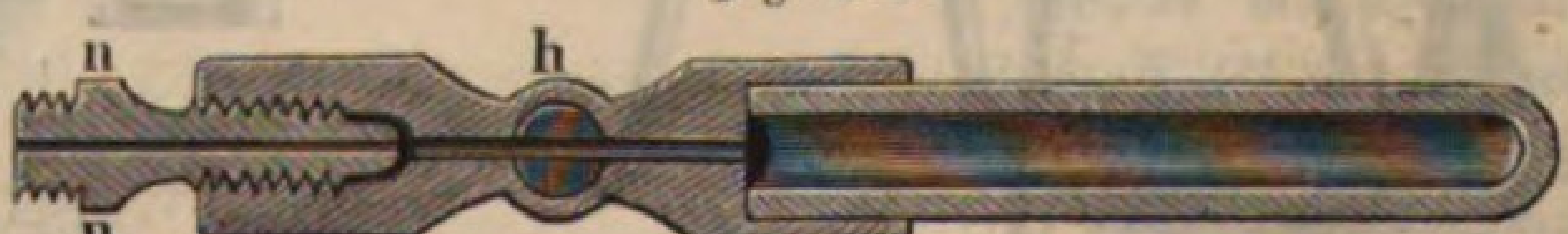
Oben ist an den Lauf *l* eine starke Flasche *r* von Schmiedeeisen aufgeschraubt, welche dem Windbüchsenkolben entspricht und auch ähnlich eingerichtet ist; da, wo sie auf die Röhre aufgeschraubt wird, befindet sich nämlich ein Ventil, welches sich nach innen öffnet und nach außen schließt. Die auf einen Druck von 150 Atmosphären geprüfte Flasche ist Fig. 514 im Durchschnitt dargestellt. Oben ist ein eiserner Aufsatz *g* angesetzt, in welchen eine horizontale messingene Röhre *n* mit feiner Oeffnung mündet. *g* ist in der Mitte durchbohrt, so daß, wenn man die Schraube *t* bis zu einer gewissen Grenze in die Höhe schraubt, das Gas aus der Flasche durch *g* und das Rohr *n* ausströmen kann; wenn aber *t* heruntergeschraubt wird, so ist die Ausflußöffnung verschlossen. Der untere Theil der Flasche *r* ist, wie man Fig. 513 sieht, mit einem Kupfergefäß *p* umgeben, welches mit Eisstücken und Salz gefüllt wird, um die gehörige Abkühlung zu bewirken.

Das Einpumpen des Gases in die Flasche geschieht mit Hülfe einer Kurbel und eines Schwungrades. Die Kolbenstange *k* ist unten an einem messingenen Querstücke befestigt, welches zur Sicherung der verticalen Bewegung durch Coulissen geführt wird, welche auf beiden Seiten des Gestelles angebracht sind. Die Art sowie die Fortpflanzung der Bewegung ist aus der Figur ersichtlich.

Vor dem Beginne des Versuchs wird das Gewicht des Recipienten bestimmt. Nachdem er aufgeschraubt ist, werden 20 bis 30 Umdrehungen gemacht, worauf man das Gas mit der im Recipienten befindlichen atmosphärischen Luft durch das geöffnete Röhrchen *n* entweichen läßt; hierauf wird dasselbe wieder geschlossen, und nun beginnt eigentlich erst das Comprimiren. So oft man 2 bis 3 Cubikfuß Kohlensäure eingepumpt hat, wird der Recipient wieder gewogen und die Operation so lange fortgesetzt, bis die Gewichtszunahme des Recipienten ungefähr 450 Gramme beträgt, wo dann ungefähr $^2/_3$ des Recipienten mit flüssiger Kohlensäure gefüllt sind.

Auch Stickstoffoxydulgas läßt sich in diesem Apparate verdichten.

Fig. 515.



Um die verdichtete Kohlensäure in tropfbar flüssigem Zustande zu zeigen, wendet man die Vorrichtung Fig. 515 an. Sie besteht aus einer ziemlich

engen, dickwandigen Glasröhre, in deren Messingfassung sich ein Hahn *h* befindet, welchen unsere Figur gerade geöffnet im Durchschnitt zeigt. — Diese Fassung wird an die, zu diesem Zwecke mit einem Schraubengewinde versehene Ausströmungsröhre *n*, Fig. 514, angeschraubt. Man dreht nun die Flasche um, so daß *t* unten ist, und öffnet dann den Hahn *h* und die Schraube *t*. — Sobald das Glasrohr mit flüssiger Kohlensäure gefüllt ist, werden *t* und *h* geschlossen, das Glasrohr sammt seiner Fassung von der eisernen Flasche abgeschraubt und in einen dickwandigen Glascylinder gebracht, welcher mit kaltem Wasser gefüllt ist, um dadurch die Gefahr des Zerspringens zu verhindern. Immerhin bleibt es gefährlich, die flüssige Kohlensäure in Glasröhren einzuschließen.

Fig. 516.



$\frac{1}{6}$

Die Ausdehnung der flüssigen Kohlensäure bietet eine merkwürdige Erscheinung dar, sie ist nämlich 4mal so groß als die der Luft; während sich die Luft bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 30° um 0,109 ihres Volumens ausdehnt, dehnt sich die flüssige Kohlensäure unter gleichen Umständen um 0,423 ihres Volumens aus. Es folgt daraus, daß das specifische Gewicht der flüssigen Kohlensäure bei verschiedenen Temperaturen sehr ungleich sei; es ist

bei — 20°	0,90
0°	0,83
+ 30°	0,60,

die Dichtigkeit des Wassers gleich 1 gesetzt.

Um die Verhältnisse näher zu untersuchen, bei denen die Condensation der Gase stattfindet, ist wohl kein Apparat geeigneter, als der in Fig. 516 dargestellte und bereits auf S. 132 des ersten Bandes im Durchschnitt dargestellte Compressionsapparat von Magnus.

In den Glascylinder *A* wird ein Gefäß *C* von Eisenblech eingesetzt, welches in der Mitte mit einem Stabe versehen ist, mittelst dessen man es in den Glascylinder hineinsetzen und wieder herausnehmen kann. Dieses Gefäß ist mit Quecksilber gefüllt und in dieses Queck-

silber tauchen vier Röhrchen, von denen das eine Luft, das zweite schweflige Säure, das dritte Ammoniakgas, das letzte endlich Cyangas enthält. Die Röhrchen sind unten offen, die Gase also durch Quecksilber abgesperrt.

Wenn dieses Gefäß mit seinen Glasröhrchen in den Cylinder *A* eingesetzt ist, so wird er ganz mit Wasser gefüllt und in seine obere Messingfassung der Aufsatz aufgeschraubt, welchen die Figur zeigt.

Mit Hülfe der Druckpumpe kann man nun den Inhalt des Cylinders *A* in der Weise comprimiren, wie es an der oben citirten Stelle bereits angegeben wurde.

Das Röhrchen, welches die Luft enthält, ist graduirt und dient dazu, die Stärke des Druckes zu messen, welchem die Gase ausgesetzt sind. Ist die Luft bis auf $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$ ihres ursprünglichen Volumens comprimirt, so ist der Druck, welchem die Gase ausgesetzt sind, gleich 2, 4, 8 Atmosphären.

Im Anfange steigt das Quecksilber in allen Röhrchen gleichmäßig; die Gase verhalten sich also ganz wie die Luft, und dieses Verhalten zeigt jeder Dampf, wenn er nicht im Maximum seiner Spannkraft ist, wenn ein gegebener Raum noch nicht so viel Dampf enthält, als bei der bestehenden Temperatur möglich ist. Durch fortwährende Compression der genannten Gase wird aber bald dieser Punkt erreicht. Bei einer Temperatur von 15^0 wird die schweflige Säure zu einem gesättigten Dampf, wenn sie durch einen Druck von nahezu vier Atmosphären comprimirt ist, wenn also die Luft in dem graduirten Röhrchen noch etwas mehr als den vierten Theil ihres Volumens einnimmt. Ist diese Gränze erreicht, so sieht man, wie sich das Innere des Röhrchens, welches die schweflige Säure enthält, gleichsam mit Thautröpfchen bekleidet, weil ein Theil des Gases schon zu Flüssigkeit verdichtet ist. Pumpt man nun noch weiter fort, so wird die schweflige Säure alsbald vollständig in eine wasserhelle Flüssigkeit verwandelt.

Dieselben Erscheinungen beobachtet man auch beim Cyangas und beim Ammoniakgas, nur tritt ihre Condensation erst bei einem stärkeren Drucke ein.

Anfangs ist die Volumenverminderung in allen vier Röhren gleich, sobald aber für ein Gas der erwähnte Gränzpunkt erreicht ist, wird bei fernerem Pumpen sein Volumen bei weitem rascher abnehmen, das Quecksilber steigt rasch bis oben hin, und über demselben befindet sich dann nur noch eine Flüssigkeit.

Hat man die drei Gase vollständig zu tropfbaren Flüssigkeiten condensirt, so kann man nun bei Oeffnung des Apparates die umgekehrte Erscheinungsreihe beobachten.

Bringt man den Hahn *s* in eine solche Stellung, daß der Glascylinder *A* mit den Wassergefäß *F* in Verbindung kommt, so tritt das vorher eingepumpte Wasser wieder aus *A* nach *F* zurück, die Gase dehnen sich wieder aus. Man kann nun aber den Hahn allmälig drehen, so daß der Druck in *A* nur nach und nach abnimmt, und dabei beobachtet man folgende Erscheinungen:

Anfangs dehnt sich nur die Luft aus; in den anderen Röhren sinkt das

Quecksilber noch nicht, bis der Punkt erreicht ist, wo die Spannkraft der Dämpfe dem Druck das Gleichgewicht halten kann; in diesem Moment bilden sich aus der Flüssigkeit Dämpfe, welche das Quecksilber des entsprechenden Röhrchens nun so rasch niederdrücken, daß es alsbald den Stand des Quecksilbers in der Luftröhre erreicht hat. Dies findet natürlich zuerst beim Ammoniak Statt. Schließt man den Hahn in dem Augenblicke wieder, wo sich die Ammoniakdämpfe gebildet und das Quecksilber niedergedrückt haben, so steht nun in der Luft- und in der Ammoniakröhre das Quecksilber gleich hoch, in den beiden anderen Röhren aber hat sich noch gar kein Gas aus der Flüssigkeit entwickelt. Läßt der Druck ferner nach, so wird sich zunächst aus dem flüssigen Cyangas, zuletzt aber aus der flüssigen schwefligen Säure wieder Gas bilden, und das Quecksilber alsbald so weit niederdrücken, daß es gleiche Höhe mit dem in der Luftröhre hat.

Das rasche Sinken des Quecksilbers rührt aber daher, daß wenn einmal der Druck so weit abgenommen hat, daß er der Spannkraft der bei dieser Temperatur aus der Flüssigkeit sich bildenden Dämpfe gleich ist, nun auf einmal alle Flüssigkeit in die Gasform übergeht und das Quecksilber sehr rasch niederdrückt.

Die Dampfmaschine. Der Wasserdampf gehört zu den mächtigsten 20
bewegenden Kräften, die uns zu Gebote stehen. Es ist kein Zweifel, daß der ungeheure Aufschwung, dessen sich die Industrie und der Verkehr in den neuesten Zeiten zu erfreuen haben, der Anwendung des Wasserdampfs zu verdanken ist. Der Wasserdampf liefert uns eine Kraft, deren wir aufs Vollkommenste Meister sind, der wir jede nur beliebige Intensität geben können, die wir überall leicht erzeugen und anbringen können.

Die Dampfmaschine spielt im praktischen Leben gegenwärtig eine so bedeutende Rolle, daß jeder Gebildete sich gern über die Grundzüge ihrer Construction unterrichten will, und diesen Unterricht sucht er natürlich zuerst in den Lehrbüchern der Physik. Es kann hier natürlich nicht die Rede davon sein, in Beziehung auf die Constructionen der Dampfmaschinen und die Geschichte ihrer Erfindung ins Detail einzugehen; der Inhalt dieser Paragraphen soll nur dazu dienen, dem Leser die Orientirung in der Einrichtung der wichtigsten Arten von Dampfmaschinen zu erleichtern.

Die Idee, den Wasserdampf als bewegende Kraft zu benutzen, ist sehr alt; schon Hero in Alexandrien construirte einen Apparat, welcher durch die Reaction des ausströmenden Wasserdampfs ungefähr so in Rotationsbewegung gesetzt wurde, wie das Segner'sche Wasserrad. Ein italienischer Mathematiker, Brancas, ließ den mit Gewalt aus einer kleinen Oeffnung eines Dampfkessels ausströmenden Dampf gegen die Schaufeln eines Rades stoßen, welches dadurch umgedreht wurde. Wie außerordentlich stark die mechanische Kraft des Wasserdampfs bei höheren Temperaturen werden könne, hat zuerst Papin mittelst des Ventils an seinem Digestor nachgewiesen. Im Jahre 1687 construirte er einen Apparat, welcher gewissermaßen die erste Kolbenmaschine ge-

nannt werden kann und dessen Spiel aus Fig. 517 ersichtlich ist. An eine ungefähr 1 Zoll weite Glasröhre ist unten eine Kugel angeblasen, welche etwas

Fig. 517.



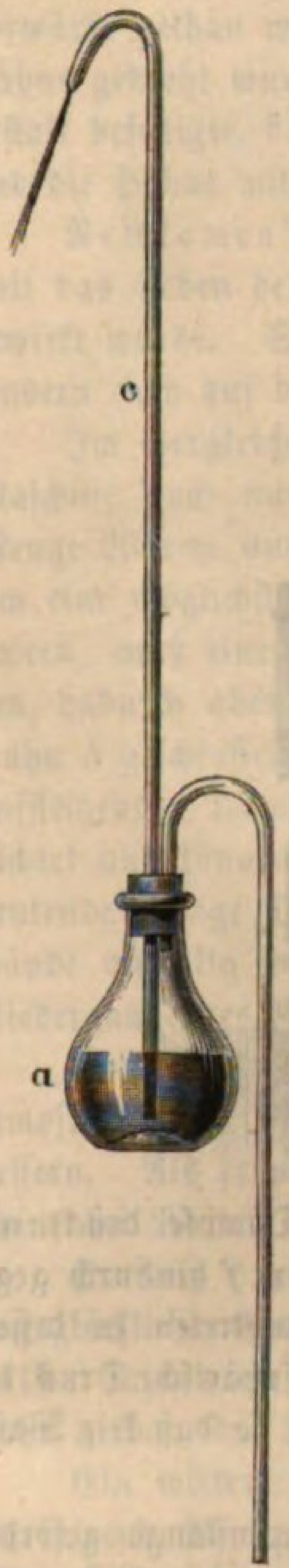
$\frac{1}{5}$

Wasser enthält; in der Röhre aber bewegt sich ein Kolben *p*, welcher mit etwas Werg umwickelt und durch Fett vollkommen schließend und möglich leicht beweglich gemacht ist. Nehmen wir an, der Kolben befinde sich am unteren Ende der Röhre, so wird er durch die entwickelten Dämpfe in die Höhe getrieben werden, wenn man die Kugel erwärmt. Wenn der Kolben oben angekommen ist, taucht man die Kugel in kaltes Wasser; dadurch verdichten sich die Dämpfe im Inneren, es entsteht ein verdünnter Raum, der Druck der atmosphärischen Luft, welcher auf der oberen Fläche des Kolbens lastet, drückt ihn also nieder. Bei einer abermaligen Erwärmung wiederholt sich dasselbe Kolbenspiel. Papin stellte ganz in dieser Art Versuche an; seine Cylinder, welche von Gußeisen waren, hatten mehrere Fuß Durchmesser und eine entsprechende Höhe. Sie wurden noch lange im Gießhause zu Kassel aufbewahrt, bis sie endlich beim Brande dieses Gebäudes, im Jahre 1836, zu Grunde gingen.

Die erste praktisch angewendete Dampfmaschine construirte Savary im Jahre 1688. Schon früher hatte Salomon de Caus, in einem zu Frankfurt im Jahr 1615 erschienenen Werke, gezeigt, daß man durch den Druck der Dämpfe Wasser über sein früheres Niveau heben, und durch Papin's Versuche wurde nachgewiesen, daß man durch Condensation der Dämpfe einen leeren Raum erzeugen könne. In Savary's Maschine ist Beides in Anwendung gebracht; das Spiel derselben läßt sich leicht durch den Apparat Fig. 518 anschaulich machen. Ein Glaskolben *a*, welcher etwas Wasser enthält, ist durch einen Korkstopfen verschlossen, durch welchen zwei Glasröhren hindurchgehen; die eine *b*, welche nach unten gebogen ist, ragt nicht weiter in den Ballon hinein, die andere *c*, welche gerade aufsteigt und nur oben etwas umgebogen ist, geht fast bis auf den Boden des Ballons. Das obere Ende der Röhre *c* sei durch einen Korkstopfen verschlossen, so wird, wenn man den Ballon mittelst einer Spirituslampe erwärmt, das Wasser bald ins Kochen kommen, die Dämpfe entweichen durch die Röhre *b* und nehmen auch die Luft im Ballon mit fort. Wenn das Kochen einige Zeit fortgedauert hat, taucht man das untere Ende der Röhre *b* in ein Gefäß mit Wasser und entfernt die Spirituslampe unter dem Ballon. Die Dämpfe in *a* verdichten sich und die Folge davon ist, daß das Wasser in der Röhre *b* aufsteigt und sich in das Gefäß *a* ergießt. Wenn es etwa bis zur Hälfte gefüllt ist, verschließe man das untere Ende der Röhre *b* mit einem Kork, nehme den Stopfen von *c* weg und bringe von Neuem Feuer unter den Ballon. Die Dämpfe, die sich nun im oberen Theile des Kolbens bilden, können nicht entweichen, sie drücken auf den Spiegel des Wassers und machen, daß es in die Röhre *c* steigt, um oben auszufließen. Durch ein

abermaliges Erkalten des Ballons kann man von Neuem Wasser aus einem tieferen Gefäße durch das Saugrohr *b* in den Ballon *a* aufsaugen und durch abermaliges Erwärmen dasselbe noch weiter im Steigrohre *c* heben. — Da die Savary'schen Maschinen nicht mehr angewendet werden, so wird es wohl genügen, das Princip zu erläutern, ohne weiter auf die Beschreibung ihrer Construction einzugehen. Die Savary'schen Maschinen wurden angewendet, um das Grubenwasser aus Bergwerken fortzuschaffen.

Fig. 518.



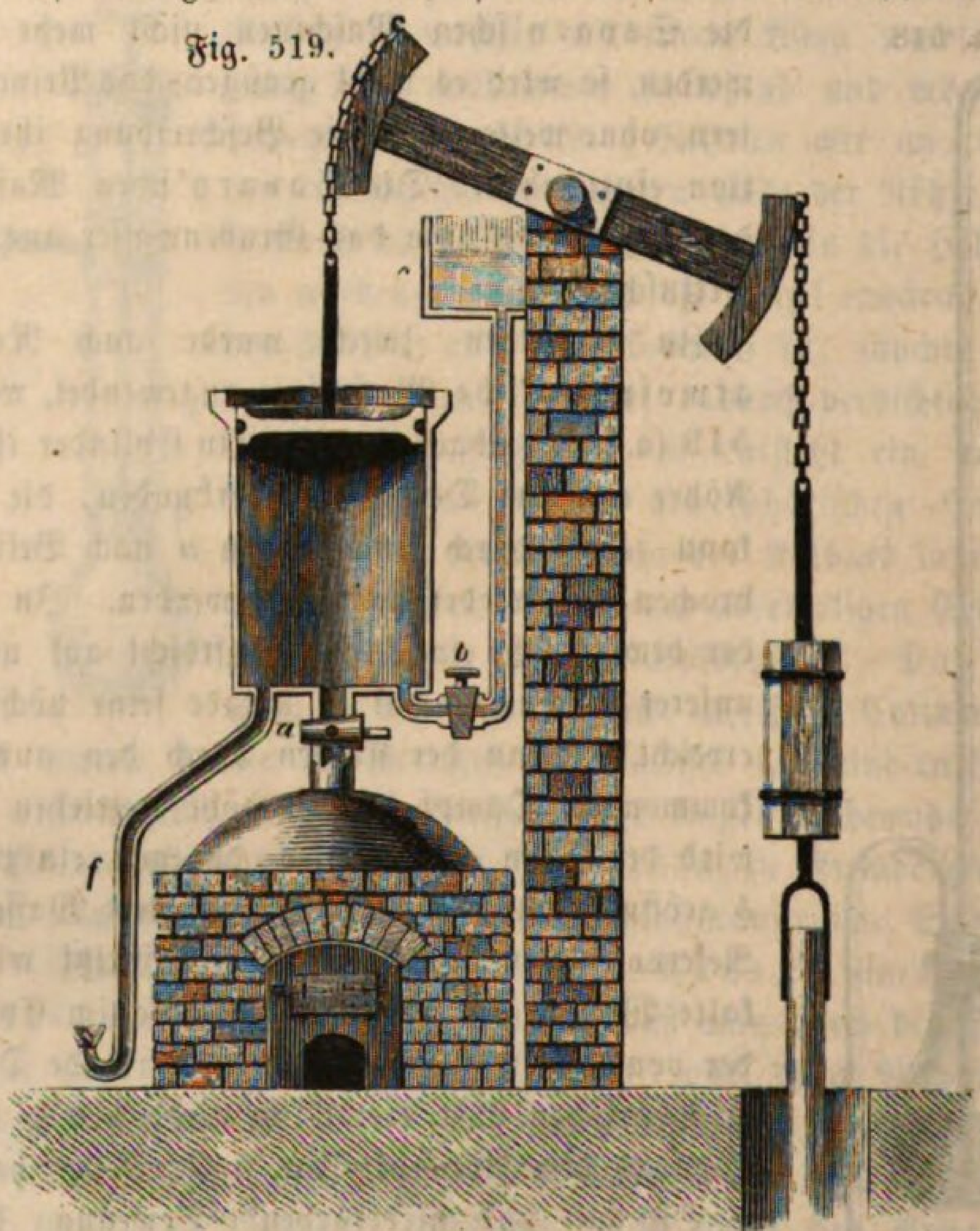
Zu demselben Zwecke wurde auch Newkomen's atmosphärische Maschine angewendet, welche in Fig. 519 (a. f. S.) abgebildet ist. Ein Cylinder ist durch eine Röhre mit dem Dampfkessel verbunden, die Verbindung kann jedoch durch einen Hahn *a* nach Belieben unterbrochen und wieder hergestellt werden. In dem Cylinder bewegt sich ein Kolben luftdicht auf und ab. In unserer Zeichnung hat er gerade seine höchste Stellung erreicht. Wenn der Kolben durch den aus dem Kessel kommenden Dampf in die Höhe getrieben worden ist, wird der Hahn *a* geschlossen, dagegen ein zweiter Hahn *b* geöffnet, durch welchen nun kaltes Wasser aus dem Reservoir *c* in den Cylinder eingespritzt wird. Dieses kalte Wasser condensirt die Dämpfe im Cylinder, und der von außen auf den Kolben wirkende Druck der atmosphärischen Luft treibt ihn nieder, wie wir dies ja schon an dem Apparate Fig. 517 gesehen haben.

Die auf- und niedergehende Bewegung des Kolbens soll aber eine auf- und niedergehende Bewegung einer Pumpenstange bewirken, und dies geschieht auf folgende Weise. An dem Kolben ist eine Kette befestigt, welche an dem einen Arme eines Balanciers angehängt ist, an dessen anderem Arme eine ähnliche Kette mit der Pumpenstange hängt. Durch den Niedergang des Kolbens wird die Pumpenstange gehoben. Wenn aber die Kraft des Dampfes den Kolben aufwärts treibt, so kann sich diese Bewegung nicht dem Balancier mittheilen, weil die biegsame Kette dieselbe nicht fortpflanzt. Der Niedergang der Pumpenstange kann nur dadurch bewirkt werden, daß die Pumpenstange so schwer ist, daß sie durch ihr eigenes Gewicht niedergeht, wenn auf der anderen Seite des Balanciers keine Kraft entgegenwirkt.

Das Wasser, welches in den Cylinder eingespritzt wird, muß mit dem durch Condensation des Dampfes entstandenen fortgeschafft werden, indem sich sonst bald der ganze Cylinder mit Wasser füllen würde. Der Abfluß des Wassers aus dem Cylinder findet nun durch die Röhre *f*, Fig. 519, Statt,

deren unteres Ende, in ein Reservoir mit Wasser eintauchend, mit einem sich nach Außen öffnenden, nach Innen schließenden Ventil versehen ist. Während der Kolben aufwärts getrieben wird, ist die Tension der Dämpfe im Cylinder

Fig. 519.



größer als der Druck der Atmosphäre. Dieser Druck der Dämpfe drückt nun das Wasser, welches sich im Cylinder befindet, durch die Röhre *f* hindurch gegen das erwähnte Ventil, welches sich öffnet, um das Wasser austreten zu lassen; sobald aber die Dämpfe condensirt werden, erhält der atmosphärische Druck das Uebergewicht und schließt das Ventil am Ende der Röhre *f*, so daß kein Wasser hier eindringen kann.

Die Wassermenge, welche durch jeden Hub der Pumpenstange gefördert werden kann, hängt natürlich von der Größe des Kolbens ab. Bekanntlich drückt die Atmosphäre auf jedes Quadratcentimeter Oberfläche mit einer Kraft, welche ungefähr dem Gewichte von 1 Kilogramm gleich ist. Wenn nun die Oberfläche des Kolbens 1000 Quadratcentimeter betrüge, so würde noch ein Niedergang des Kolbens erfolgen, wenn die Pumpenstange sammt der zu hebenden Wassermasse ein Gewicht von 1000 Kilogrammen hat, vorausgesetzt, daß im Cylinder ein vollkommenes Vacuum erzeugt werden könnte, was nun freilich nicht der Fall ist.

Bei dieser Maschine, wie sie Newkomen construirt hatte, war stets eine Person beschäftigt, um die Hähne *a* und *b* zur gehörigen Zeit zu drehen. Ein

zu diesem Geschäfte angestellter Knabe, Humphry Potter, welchem die einförmige Handhabung der Ventile langweilig war, ersann ein Mittel, das Oeffnen und Schließen der Hähne durch die Maschine selbst bewirken zu lassen, wodurch wieder ein großer Schritt zur Vervollkommnung der Dampfmaschinen vorwärts gethan war. Potter band Schnüre an die Griffe, durch welche die Hähne gedreht wurden, und führte sie zum Balancier, an welchem er sie dergestalt befestigte, daß derselbe, wenn er sich hob und senkte, die Schnüre anzog und die Hähne mit der größten Regelmäßigkeit öffnete und schloß.

Newkomen's Maschinen erhielten den Namen der atmosphärischen, weil das Heben des Wassers durch den Druck der Atmosphäre auf den Kolben bewirkt wurde. Sie waren sehr verbreitet, und zwar nicht allein in England, sondern auch auf dem Continente.

Im Vergleich zum verbrauchten Brennmaterial giebt die atmosphärische Maschine doch nur einen sehr geringen Nutzeffect, es wird eine bedeutende Menge Wärme nutzlos verschwendet. Der Grund davon ist leicht einzusehen. Um eine möglichst vollkommene Condensation der Dämpfe im Cylinder zu erhalten, muß eine ziemlich bedeutende Menge kalten Wassers eingespritzt werden, dadurch aber werden die Cylinderwände selbst erkaltet. Wenn nun der Hahn *b* geschlossen und *a* wieder geöffnet wird, so kommen die aus dem Kessel aufsteigenden Dämpfe mit den kälteren Wänden in Berührung, sie werden verdichtet und können mithin nichts zur Hebung des Kolbens beitragen, eine bedeutende Menge Dampf wird also lediglich dazu verschwendet, die Cylinderwände allmälig wieder zu erwärmen, damit diese Wärme beim abermaligen Niedergange des Kolbens wieder verloren geht.

Jakob Watt war im Winter 1763 beauftragt worden, das Modell einer atmosphärischen Maschine, welches der Universität zu Glasgow gehörte, auszubessern. Als er mit dem Modell Versuche anstellte, sah er ein, daß die Maschine bei Weitem mehr Dampf verbrauche, als zum Spiele des Kolbens nöthig sei. Er sann darüber nach, wie dem Uebelstande abzuhelfen sei, und kam auf den glücklichen Gedanken, einen von dem Cylinder abgesonderten Condensator anzubringen, und somit war der erste Schritt in der glänzenden Laufbahn gethan, die Watt's Namen unsterblich macht.

Ein weiterer sehr wesentlicher Fortschritt bestand darin, daß Watt die alternirende Bewegung des Kolbens in eine gleichförmig kreisförmige Bewegung verwandelte.

Aus den Watt'schen Dampfmaschinen entwickelten sich später dadurch, daß man stärker gespannte Dämpfe anwendete, was eine Weglassung des Condensators möglich machte, die sogenannten Hochdruckdampfmaschinen, die wir ihrer größeren Einfachheit wegen zum Ausgangspunkte unserer weiteren Betrachtungen wählen wollen. Ist einmal die Hochdruckmaschine richtig verstanden, dann ist es auch leicht, eine klare Vorstellung von der complicirten Watt'schen Niederdruck-Maschine zu bekommen.

Die Hochdruckmaschine. Fig. 520 (a.f.S.) stellt eine Hochdruckdampf- 201
maschine möglichst einfacher Construction im Durchschnitt, Fig. 521 stellt von

Fig. 520.

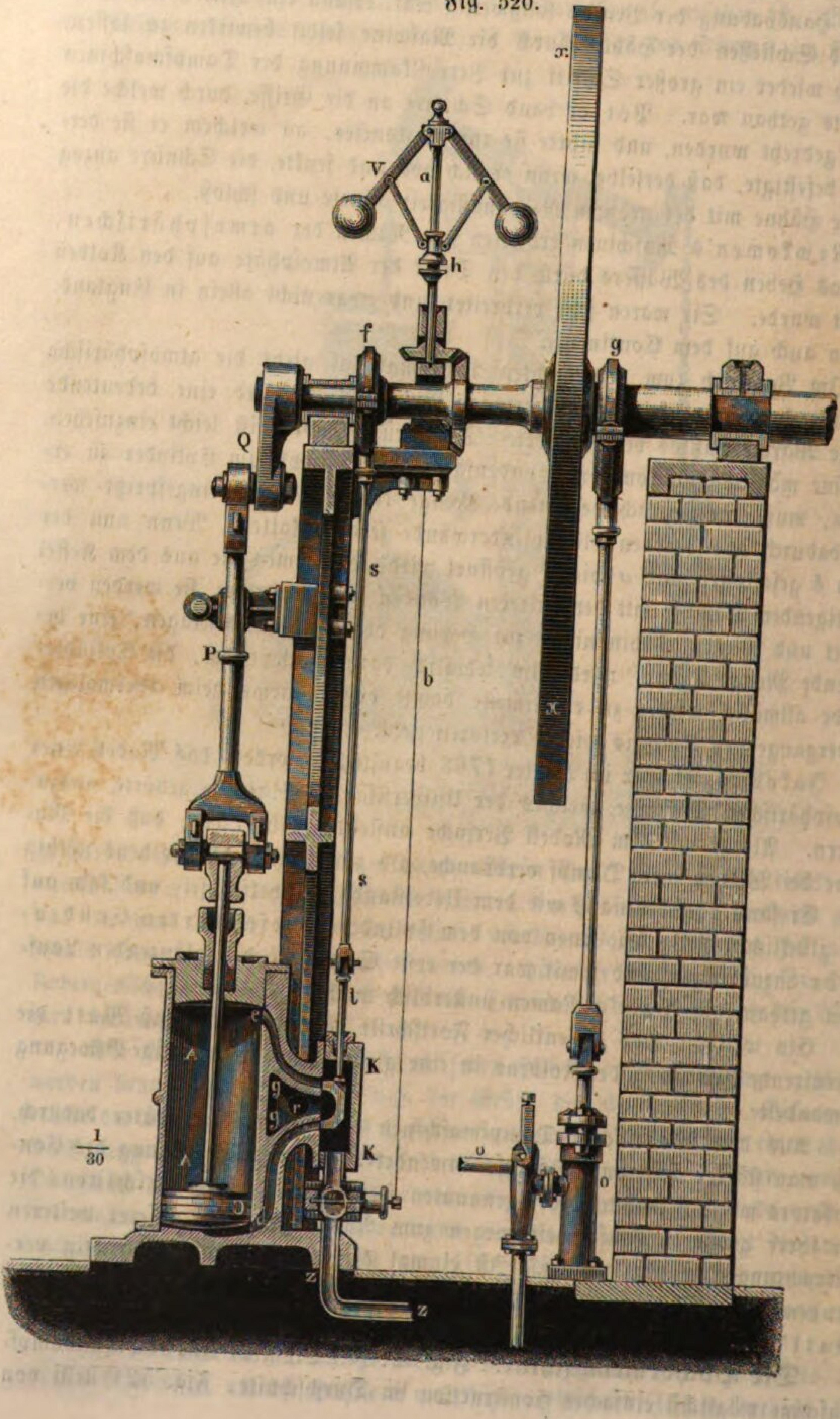
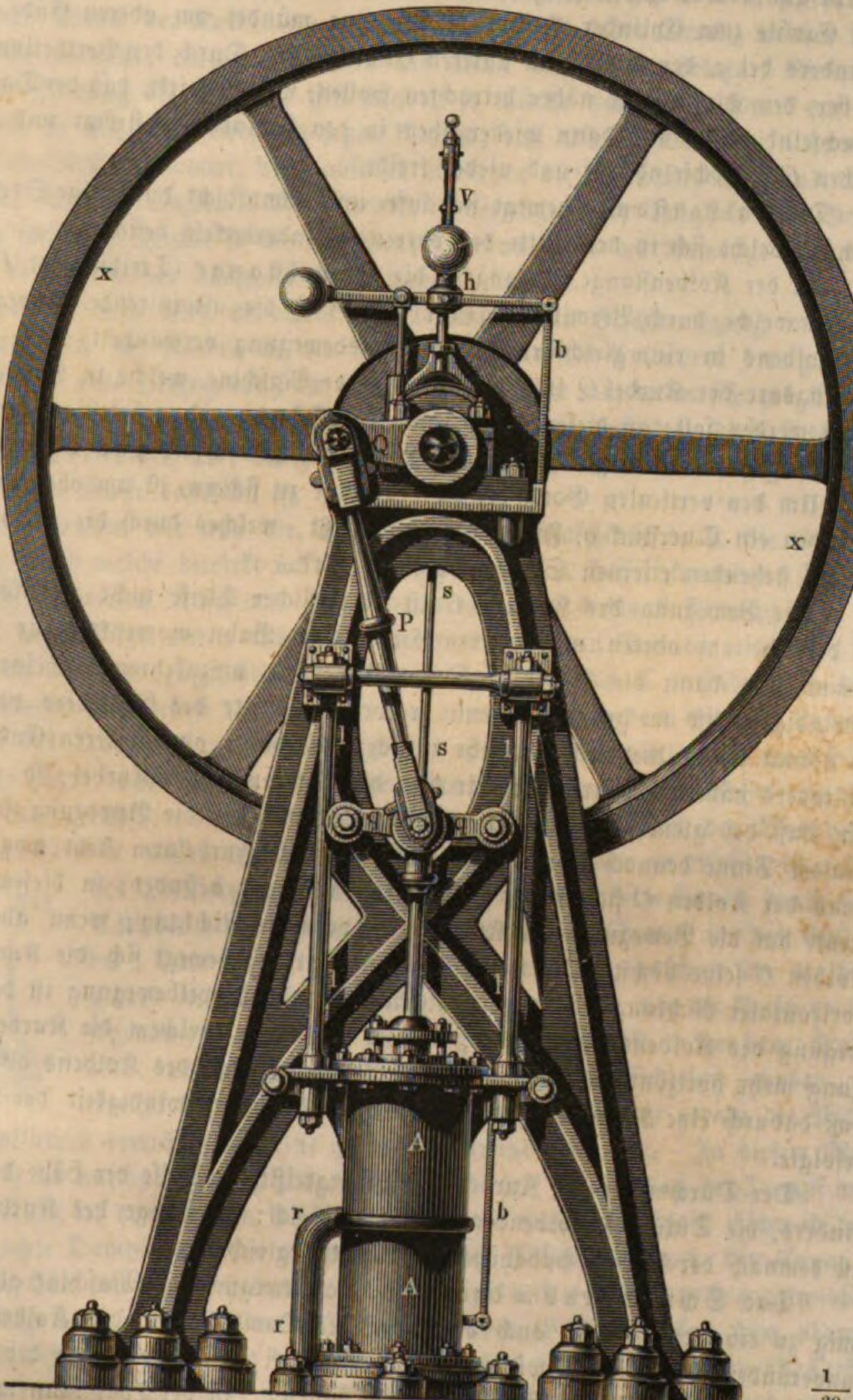


Fig. 521.



derselben Maschine eine vordere Ansicht dar. Durch das Rohr z gelangt der Dampf aus dem Dampfkessel zunächst in den Dampfraum K, von welchem aus zwei Canäle zum Cylinder A führen; der eine mündet am oberen Ende des Cylinders bei e, der andere am unteren Ende bei d. Durch den Vertheilungsschieber, den wir alsbald näher betrachten wollen, wird bewirkt, daß der Dampf abwechselnd unten und dann wieder oben in den Cylinder einströmt und den Kolben C abwechselnd auf und nieder treibt.

Die Kolbenstange bewegt sich luft- und dampfdicht durch eine Stopfbüchse, welche sich in der Mitte des oberen Cylinderdeckels befindet.

An der Kolbenstange ist zunächst die Pleuelstange (Treibstange) P befestigt, welche durch Vermittelung der Kurbel Q die alternirende Bewegung des Kolbens in eine gleichförmige Rotationsbewegung verwandelt. Die Umdrehungsaxe der Kurbel Q ist die Hauptaxe der Maschine, welche in Bewegung gesetzt werden soll; an dieser Axe ist auch das Schwungrad x befestigt, welches dazu dient, kleinere Ungleichheiten im Gange der Maschine auszugleichen.

Um den verticalen Gang der Kolbenstange zu sichern, ist am oberen Ende derselben ein Querstück q, Fig. 521, angebracht, welches durch die zu beiden Seiten stehenden eisernen Säulen l geführt wird.

Die Bewegung des Kolbens C ist begreiflicher Weise nicht gleichförmig, da derselbe am oberen und unteren Ende seiner Bahn momentan zur Ruhe kommt, um dann die Richtung seiner Bewegung umzukehren. Seine Geschwindigkeit ist am größten, wenn er eben die Mitte des Cylinders passirt; sie nimmt um so mehr ab, je mehr er sich dem oberen oder unteren Ende des Cylinders nähert. Betrachten wir nun die Bewegung der Kurbel, so finden wir, daß bei gleichförmiger Umdrehungsgeschwindigkeit die Bewegung in verticalem Sinne dennoch sehr veränderlich ist. Der Kurbelarm steht wagerecht, wenn der Kolben C sich in der Mitte des Cylinders befindet; in diesem Momente hat die Bewegung der Kurbel eine verticale Richtung; wenn aber der Kolben C seine höchste oder tiefste Stellung hat, so bewegt sich die Kurbel in horizontaler Richtung. Der verticale Antheil der Kurbelbewegung ist der Bewegung des Kolbens ganz gleich; in dem Maße, in welchem die Kurbelbewegung mehr horizontal wird, nimmt die Geschwindigkeit des Kolbens ab, ohne daß dadurch eine Verminderung in der Umdrehungsgeschwindigkeit der Kurbel erfolgte.

Der Durchmesser der Kurbelbahn ist begreiflicher Weise der Höhe des Cylinders, die Dicke des Kolbens abgerechnet, gleich; die Länge des Kurbelarms ist demnach der halben Hubshöhe des Kolbens gleich.

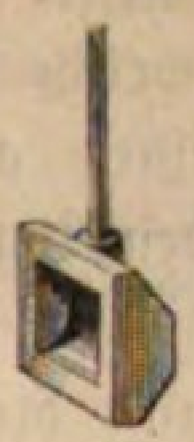
Das Schwungrad x dient dazu, die Bewegung der Maschine gleichförmig zu erhalten. Wenn auch der Druck des Dampfes auf den Kolben ganz unveränderlich wäre, so würde er doch nicht bei allen Stellungen der Kurbel gleichviel zu deren Umdrehung beitragen können. In der That kann man den Druck, welcher durch die Treibstange P auf die Kurbel wirkt, in zwei zu einander rechtwinklige Kräfte zerlegt denken; die eine, in der Richtung der Kurbel selbst, als Druck auf die Axe wirkend, trägt nichts zur Umdrehung bei;

diese wird ganz allein durch die andere tangential zur Kurbelbahn wirkende hervorgebracht. Die Größe dieser beiden Kräfte ändert sich aber in jedem Momente. Wenn der Kurbelarm vertical steht, wirkt jeder Druck, welcher vom Kolben ausgeht, einzig und allein als Druck auf die Kurbelaxe. Wenn in dieser Stellung die Maschine still stände, so würde der größte Druck auf den Kolben sie nicht in Bewegung setzen können; daß also die Maschine, indem sie in diese Stellung kommt, nicht absolut stillstehen bleibt, rührt einzig und allein daher, daß die einzelnen Maschinentheile vermöge ihrer Trägheit ihre Bewegung fortsetzen, gerade so wie ein Pendel, wenn es in der Ruhelage ankommt, doch vermöge seiner Trägheit die Bewegung fortsetzt.

Ueberhaupt wird der Lauf der Maschine eine Beschleunigung erfahren, während sich der Kolben in dem mittleren Theile des Cylinders bewegt; dagegen tritt eine Verzögerung im Laufe der Maschine ein, wenn sich der Kolben nahe am oberen oder unteren Ende des Cylinders befindet; diese Ungleichförmigkeiten werden aber durch das Schwungrad um so mehr ausgeglichen, je größer die Masse desselben ist.

Betrachten wir nun die Steuerung der Maschine, d. h. die Vorrichtung, durch welche bewirkt wird, daß der aus dem Kessel kommende Dampf, welcher bei diesen Maschinen eine Spannkraft von 4 bis 6 Atmosphären erreicht, abwechselnd unten und dann wieder oben in den Cylinder eintritt. In der dem Cylinder zugekehrten Wand des Dampfraumes K befinden sich drei Oeffnungen, von denen die eine mit dem oberen, die andere mit dem unteren Theile des Cylinders in Verbindung steht, während die mittlere zu einer Höhlung g führt, aus welcher der verbrauchte Dampf durch das Rohr r in die freie Luft gelangt. Vor diesen Oeffnungen bewegt sich nun der Vertheilungsschieber, dessen Einrichtung aus Fig. 522 näher zu ersehen ist. In der Stellung, wie sie Fig. 520 zeigt, sind beide Canäle durch den Schieber verschlossen, es strömt gar kein Dampf in den Cylinder, denn es ist ja dies der Moment, in welchem der Kolben gerade seine tiefste Stellung hat, in welchem also die Maschine im sogenannten todten Punkte angelangt ist. In dem Maße aber, als der Kolben steigt, wird auch der Schieber gehoben, er erreicht seine höchste Stellung, wenn der Kolben gerade die Mitte des Cylinders erreicht, also seine größte Geschwindigkeit hat. In diesem Momente ist die untere Oeffnung ganz frei, Fig. 523 (a. f. S.), so daß der Dampf mit voller Kraft in den unteren Theil des Cylinders einströmen kann, während der verbrauchte Dampf aus dem oberen Theile des Cylinders durch den Canal e und die Höhlung des Schiebers nach g gelangt und von da durch r entweicht.

Fig. 522.



Nähert sich der Kolben mit abnehmender Geschwindigkeit dem oberen Ende des Cylinders, so geht der Schieber allmälig wieder nieder, um alle Oeffnungen in dem Augenblicke zu schließen, in welchem der Kolben das oberste Ende seiner Bahn erreicht. Während darauf der Kolben wieder niedergeht, fährt auch die niedergehende Bewegung des Schiebers noch fort, bis der Kolben wieder in der Mitte des Cylinders angekommen ist, wo dann die obere Oeff-

nung ganz frei ist, Fig. 524, und der Dampf aus der unteren Hälfte des Cylinders durch die Höhlung des Schiebers entweicht.

Fig. 523. Fig. 524.

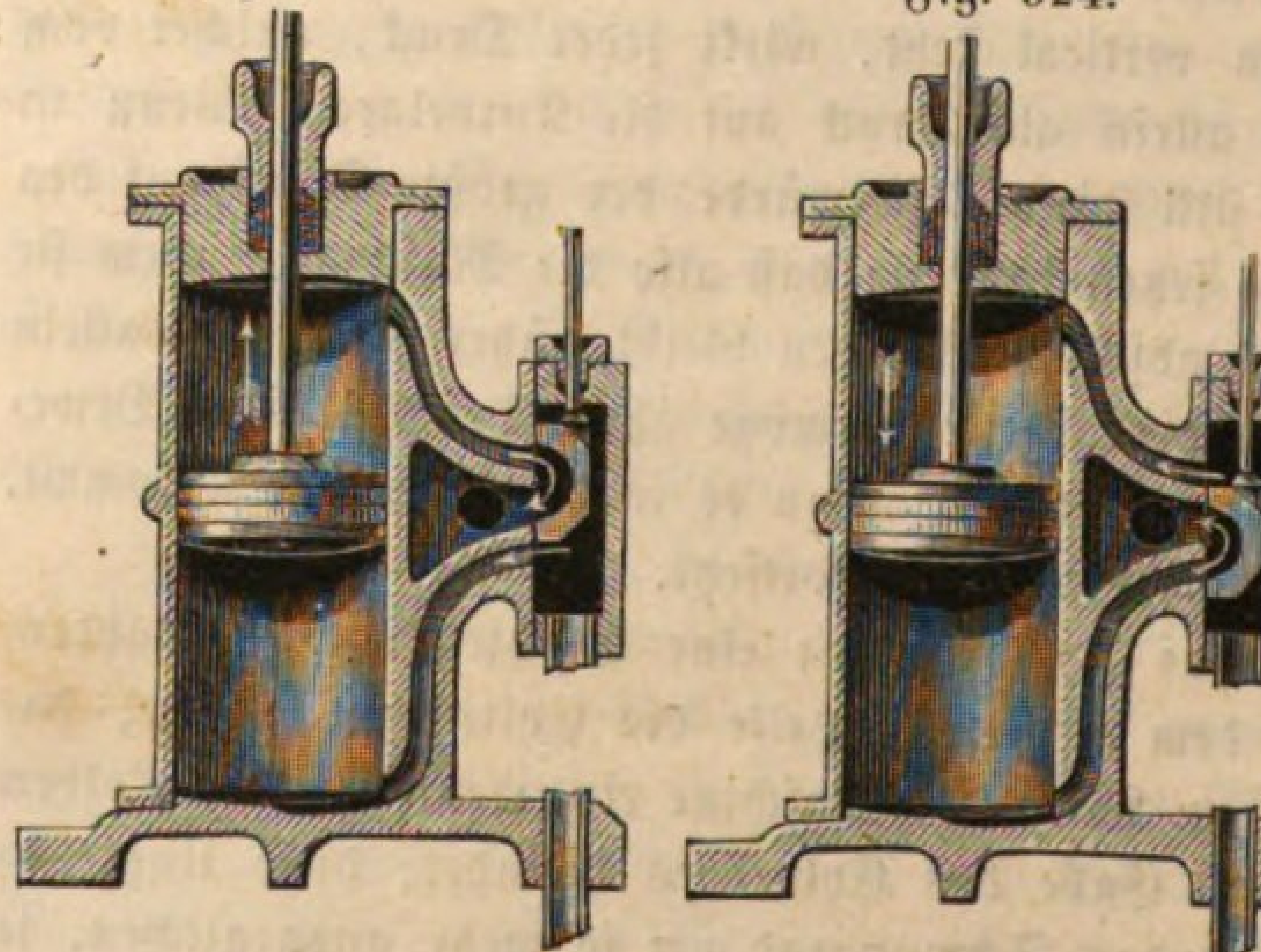
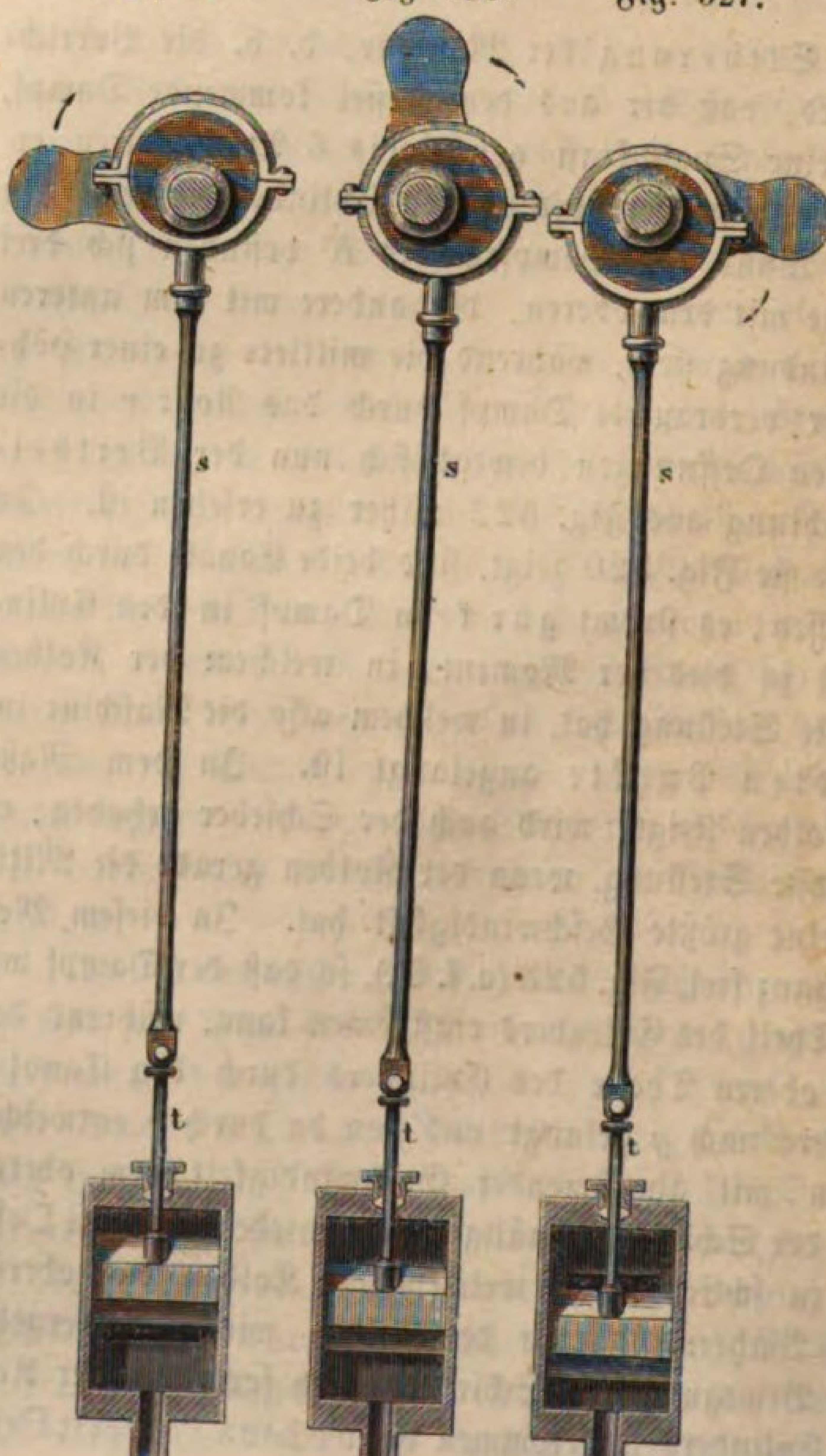


Fig. 525. Fig. 526. Fig. 527.



Die eben betrachtete Bewegung des Vertheilungsschiebers muß natürlich durch die Maschine selbst bewerkstelligt werden, und zwar geschieht dies durch die *excentrische Scheibe f*, die wir in Fig. 520 von der Seite sehen. Fig. 525, Fig. 526 und Fig. 527 zeigen dieselbe von vorn gesehen in drei Hauptstellungen.

Die excentrische Scheibe ist eine kreisförmige Scheibe, die an der Hauptaxe der Maschine befestigt ist, deren Mittelpunkt aber nicht mit dem Mittelpunkte der Axe zusammenfällt, so daß bei jeder Umdrehung der Axe der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe einen kleinen Kreis zu beschreiben hat, dessen Durchmesser der Bahn gleich ist, welche der Schieber bei seiner auf- und niedergehenden Bewegung zurücklegt.

Um den Umfang dieser Scheibe ist ein Ring gelegt, an welchem die Stange *s* befestigt ist; an der Stange *s* hängt nun wieder mittelst eines Gelenkes die Schieberstange *t*, und so ist klar, wie der Schieber aufwärts gezogen wird, während der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe durch die Umdrehung der

Axe aus seiner tiefsten in seine höchste Stellung gelangt, und daß umgekehrt der Schieber niedergedrückt wird, während der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe auf der anderen Hälfte seiner Bahn niedergeht.

Da der Dampf unten voll einströmen muß, wenn der Kolben in aufgehender Bewegung die Mitte des Cylinders passirt, so muß der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe seinen höchsten Punkt einnehmen, wenn der Kurbelarm eben wagerecht steht, Fig. 525. Gelangt der Kurbelarm in seine höchste Stellung, so daß er vertical nach oben gerichtet ist, so steht jetzt der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe in gleicher Höhe mit dem Mittelpunkte der Axe, der Schieber befindet sich gerade in der Mitte seiner Bahn und verschließt alle Oeffnungen, Fig. 526. Wenn der Kolben, nach unten gehend, die Mitte des Cylinders passirt, so steht die Kurbel wieder wagerecht und die excentrische Scheibe nimmt ihre tiefste Stellung ein, damit der Dampf frei durch die obere Oeffnung einströmen könne, Fig. 527.

Um die Maschine im Gange zu erhalten, muß im Kessel fortwährend Wasser verdampft werden; es ist also klar, daß in gleichem Maße dem Kessel wieder frisches Wasser zugeführt werden muß, wenn der Gang der Maschine keine Störungen erleiden soll. Dies geschieht nun durch die Druckpumpe *o*, Fig. 520, deren Kolben durch die excentrische Scheibe *g* bewegt wird. Die innere Einrichtung einer solchen Druckpumpe haben wir bereits durch Fig. 189 des ersten Bandes kennen gelernt.

Wenn die zu verrichtende Arbeit, der zu überwindende Widerstand im Allgemeinen ab- oder zunimmt, so ist die Folge davon, daß der Gang der Maschine schneller oder langsamer wird. Momentane, kurz dauernde Störungen der Art werden schon durch das Schwungrad ausgeglichen; eine allgemeine Verminderung des Widerstandes und der Last aber würde bei unverändertem Zuflusse des Dampfes eine immer zunehmende Beschleunigung des Ganges der Maschine zur Folge haben. Damit nun die Geschwindigkeit nicht über eine gewisse Grenze wachsen kann, muß im Dampfzuflußrohre eine Klappe angebracht sein, durch deren Drehung dem Dampfe der Weg mehr oder weniger versperrt wird, je nachdem die Klappe mehr und mehr aus der verticalen Lage (der vollkommenen Oeffnung) in die horizontale (den vollkommenen Verschluß) übergeht. Die Drehung dieser Klappe muß aber durch die Maschine selbst besorgt werden, und dies geschieht durch eine Vorrichtung, welche den Namen Regulator führt.

Die Bewegung der Hauptaxe wird durch Winkelräder auf eine verticale Axe *a*, übertragen, welche das conische Pendel *V*, Fig. 520 und Fig. 521 trägt; es besteht dies aus zwei schweren Kugeln, die an das obere Ende der Stange *a* so angehängt sind, daß sie vermöge ihre Centrifugalkraft auseinanderfahren, wenn die Axe *a* rasch umgedreht wird; sobald dies aber geschieht, wird die Hülse *h* gehoben und dadurch die Stange *b* in die Höhe gezogen (in Fig. 520 ist dieselbe nur durch eine Linie angedeutet), dadurch aber wird das Drosselventil *n* um seine Axe gedreht und also der Zufluß des Dampfes um so mehr gehemmt, je rascher die Maschine läuft.

Eine der bekanntesten und interessantesten Hochdruckmaschinen ist die **Locomotive**, wie sie auf unseren Eisenbahnen gebraucht wird. Fig. 528 zeigt die Ansicht einer Locomotive von eben so zweckmäßiger als auch übersichtlicher Construction. Die Hauptmasse der Locomotive bildet der cylindrische Dampfkessel, dessen Durchschnitt in Fig. 529 dargestellt ist und welcher später

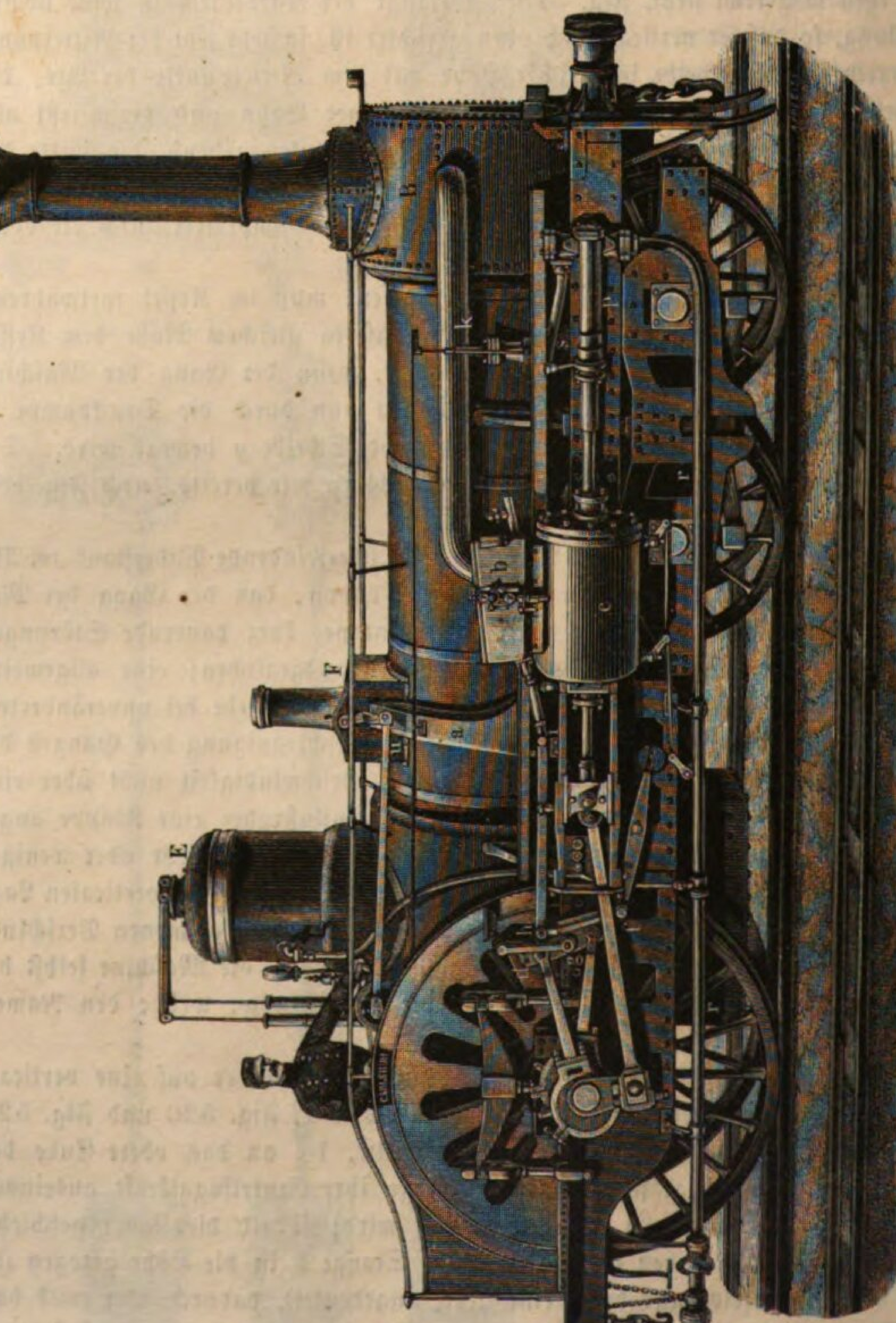


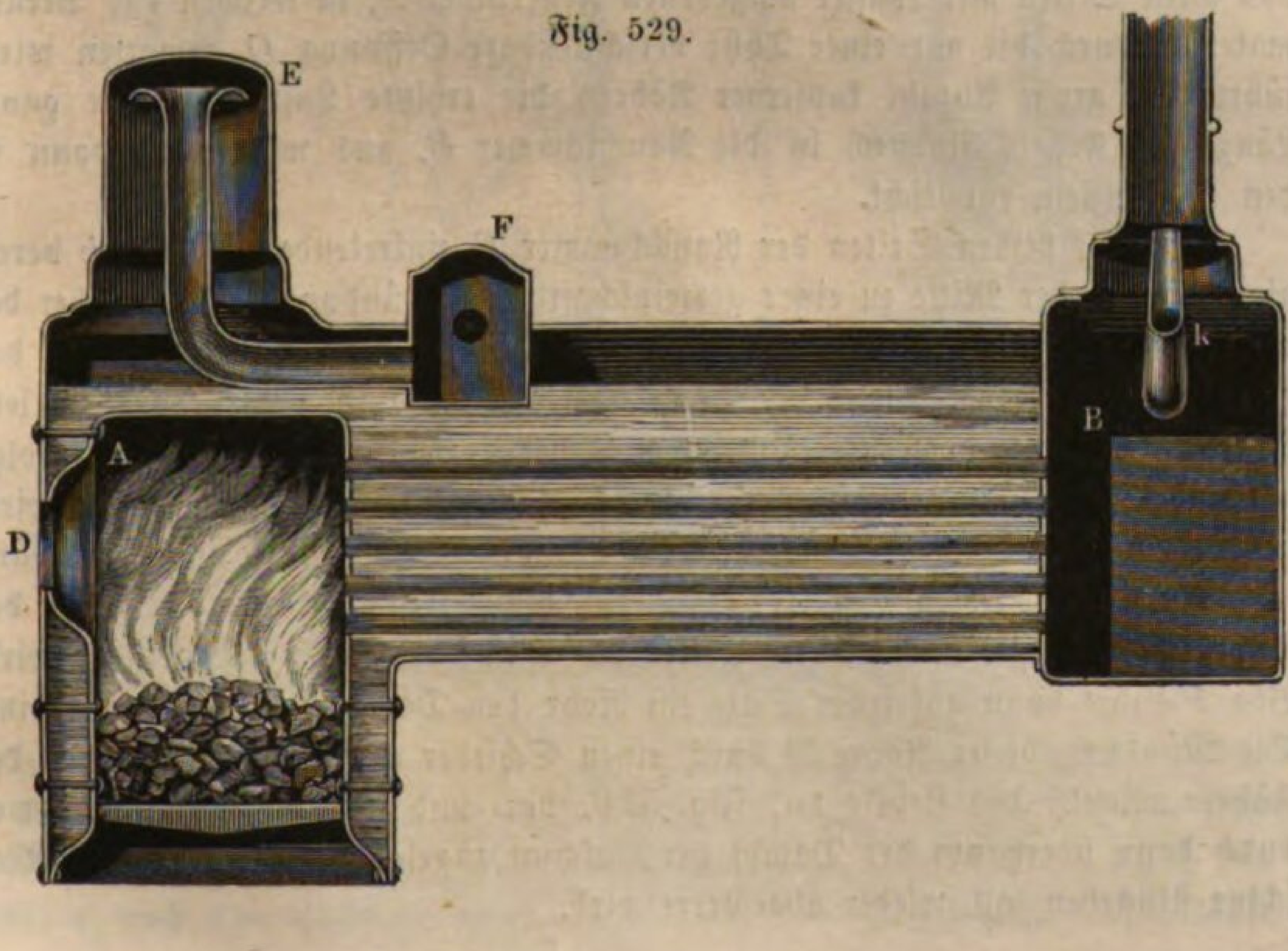
Fig. 528.

noch besprochen werden soll. Der vom Dampfkessel gelieferte Dampf gelangt durch ein Rohr, welches durch die kastenartige Verschalung *a*, Fig. 528, verdeckt wird, zu dem Dampfkasten *b*, auf dessen etwas gegen die Horizontale geneigtem Boden der Vertheilungsschieber liegt, welcher den Dampf bald auf die eine, bald auf die andere Seite des Cylinders *c* gelangen läßt. In diesem Cylinder wird dann ein Kolben bald nach der einen, bald nach der anderen Seite getrieben und die Bewegung desselben ganz in derselben Weise auf eine Kurbel übertragen, wie wir sie bei der Dampfmaschine, Fig. 520, kennen lernten, mit dem einzigen Unterschiede, daß hier der Cylinder horizontal liegt, daß sich der Kolben sammt der Kolbenstange in horizontaler Richtung hin und her bewegt, während bei der Maschine Fig. 520 diese Bewegungen in verticaler Richtung vor sich gingen.

Man wird ohne Schwierigkeit in Fig. 528 die durch den linken Deckel des Cylinders *c* austretende Kolbenstange, die Pleuelstange und die Kurbel auffinden können. Die Axe dieser Kurbel bildet nun zugleich die Umdrehungsaxe der siebenfüßigen Treibräder, deren Umdrehung eben das Fortrollen der ganzen Locomotive bewirkt.

Die Führung des Vertheilungsschiebers wird auch hier durch eine excentrische Scheibe besorgt. Unsere Figur zeigt deren zwei, dicht hinter einander liegende, welche in ihrem Gange um 180° verschieden sind, so daß sie gleichzeitig in den entgegengesetzten extremen Stellungen ankommen. Die Stange der vorderen excentrischen Scheibe ist an dem oberen, die Stange der hinteren excentrischen Scheibe ist an dem unteren Ende des eisernen Bügels *df* befestigt, welcher um seinen festen Mittelpunkt *g* in verticaler Ebene drehbar ist. Dieser Bügel wird demnach während des Ganges der Maschine in der Weise hin- und

Fig. 529.



hergezogen, daß *d* seine äußerste Stellung links hat, wenn *f* am weitesten nach rechts steht (wie es eben unsere Figur zeigt), während nach einer halben Umdrehung der Kurbelaxe umgekehrt *d* in die äußerste Stellung rechts, *f* in die äußerste Stellung links kommt.

In diesen Bügel greift nun die Stange *hi* ein, an deren anderem Ende die Schieberstange befestigt ist. Bei der Stellung, welche unsere Figur zeigt, hat *d*, also auch die Stange *hi* und der Schieber, die äußerste Stellung links, der Dampf tritt also auf der rechten Seite in den Cylinder ein und der Kolben wird nach der linken getrieben, so daß sich also die Kurbel sammt dem Treibrade in der Richtung drehen muß, wie die Zeiger einer Uhr, was zur Folge hat, daß die Maschine vorwärts läuft.

Um rückwärts zu fahren, wird das eine Ende *h* der Stange *hi* mittelst einer besonderen Hebelvorrichtung niedergedrückt, so daß *h* an das untere Ende des Bügels *df* kommt; dadurch wird die Führung des Schiebers der hinteren excentrischen Scheibe übertragen, welcher die entgegengesetzte Umdrehung der Kurbel entspricht.

Der verbrauchte Dampf entweicht durch das Rohr *k* in den Schornstein.

An dem in dem Dampfcylinder *c* sich hin und her bewegenden Kolben ist auf der rechten Seite gleichfalls eine Kolbenstange befestigt, welche durch eine Stopfbüchse aus dem Cylinder austritt und an welcher unmittelbar ein etwas dicker messingener Cylinder angesetzt ist, welcher als Kolben der Druckpumpe *p* arbeitet. Diese Druckpumpe saugt das Wasser durch das Rohr *r* aus dem Tender und preßt es durch das kurze Rohr *s* in den Kessel hinein, wodurch dann das durch die fortwährende Dampfbildung consumirte Wasser wieder ersetzt wird.

Fig. 529 zeigt einen Längendurchschnitt des Locomotivkessels. Aus dem von allen Seiten mit Wasser umgebenen Feuerraum *A*, in welchen das Brennmaterial durch die mit einer Thür verschließbare Oeffnung *D* geworfen wird, führt eine große Anzahl kupferner Röhren die erhitzte Luft durch die ganze Länge des Kessels hindurch in die Rauchkammer *B*, aus welcher sie dann in den Schornstein entweicht.

Die auf beiden Seiten der Rauchkammer *B* eintretenden Röhren *k* vereinigen sich in der Mitte zu einer gemeinschaftlichen Mündung, aus welcher der verbrauchte Dampf mit solcher Gewalt in den Schornstein einströmt, daß dadurch ein Theil der Luft aus der Rauchkammer *B* mitgerissen wird, was ein lebhaftes Nachströmen der erhitzten Luft von *A* her durch die Siederöhren zur Folge hat und wodurch die lebhafte Verbrennung im Feuerraume eben so erhalten wird, als ob ein ungleich höherer Schornstein auf die Rauchkammer aufgesetzt wäre.

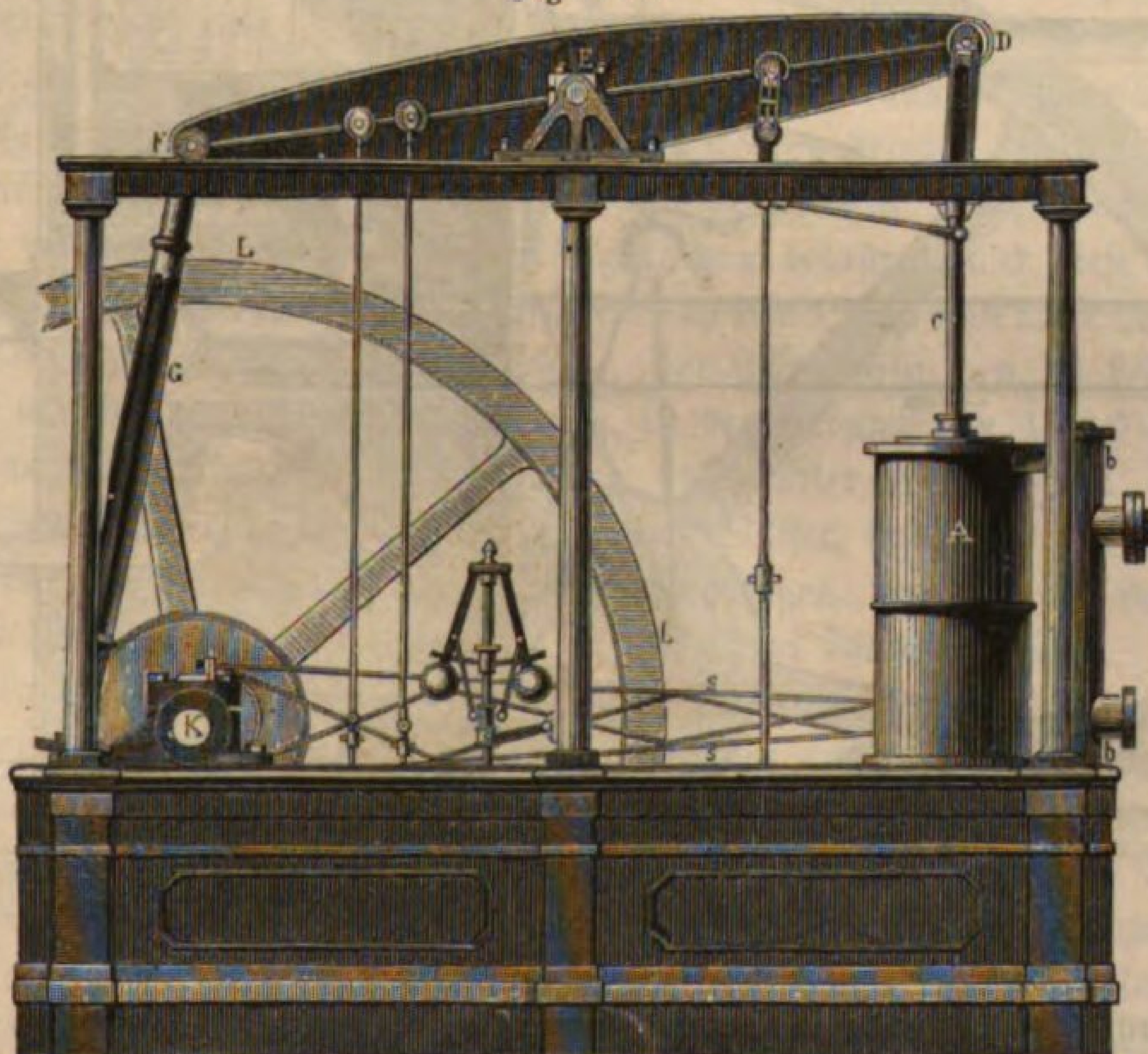
Der in dem Kessel gebildete Dampf sammelt sich vorzugsweise in der Kuppel *E*, von wo er durch ein weites Rohr in das Kästchen *F* geführt wird. Von *F* führt dann auf jeder Seite ein Rohr den Dampf weiter zur Maschine. Die Mündung dieser Röhre ist durch einen Schieber verschließbar, welchen der Führer mittelst des Hebels *tu*, Fig. 528, vor- und zurückschieben kann, wodurch dann überhaupt der Dampf zur Maschine zugelassen, oder, wenn die Maschine stillstehen soll, wieder abgesperrt wird.

Niederdruckmaschinen. Bei den eben besprochenen Maschinen ist die 202
eine Seite des Cylinders mit der atmosphärischen Luft in Verbindung, so daß auf der einen Seite des Kolbens der Druck der Atmosphäre lastet, während auf der anderen Seite der Druck des Dampfes wirkt; es ist klar, daß hier der Dampfdruck ein bedeutender sein muß, da ja ein Theil desselben noch zur Ueberwindung des Luftdrucks verwendet wird und nur der Rest der Bewegung zu gut kommt. Solche Maschinen heißen Hochdruckmaschinen, weil in ihnen Dampf von hoher Spannung in Anwendung kommt.

Soll nun aber die Maschine schon durch Dampf von geringer Spannkraft (von niederem Druck) getrieben werden, so muß man auf der anderen Seite des Kolbens nicht die atmospärische Luft drücken lassen, sondern einen verdünnten Raum erzeugen, was dadurch geschieht, daß man die verbrauchten Dämpfe nicht in die freie Luft ausströmen läßt, sondern daß man sie zu einem Behälter hinleitet, in welchem sie durch Einspritzen von kaltem Wasser verdichtet werden. Dieser Verdichtungsraum heißt der Condensator, und Dampfmaschinen, welche, mit einem Condensator versehen, durch Dämpfe von geringer Spannkraft getrieben werden können, heißen Niederdruckmaschinen.

Watt's Maschinen waren Niederdruckmaschinen. Fig. 530 stellt eine

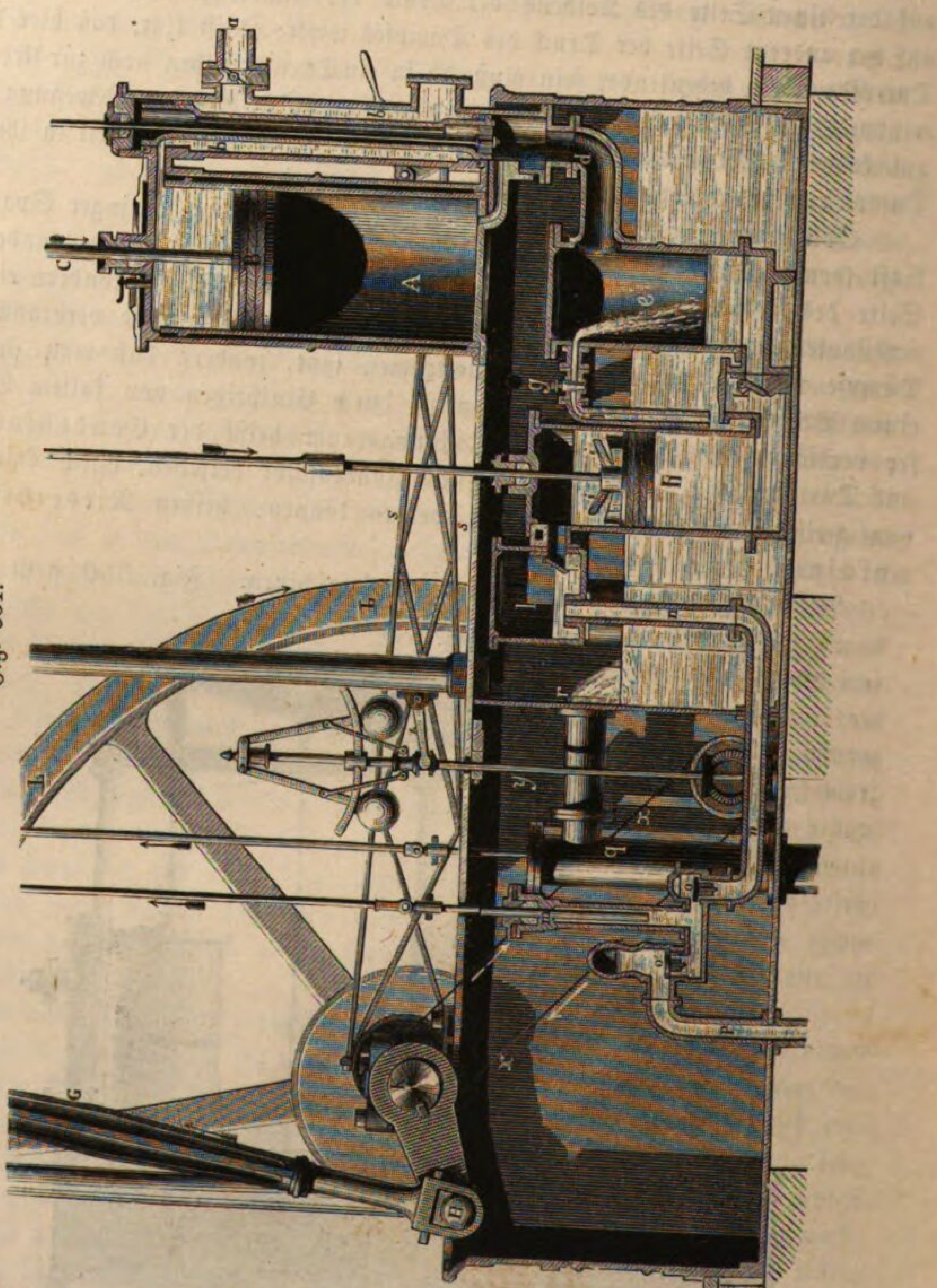
Fig. 530.



Totalansicht, Fig. 531 (a. f. S.) stellt den Durchschnitt des unteren Theils der Maschine dar. Der Vertheilungsschieber hat hier eine etwas andere Einrichtung als der früher betrachtete. Der verbrauchte Dampf strömt durch den Canal *d* nach dem Condensator *e*, in welchem die Verdichtung der Dämpfe

durch fortwährend eingespritztes Wasser bewirkt wird. Das durch Einspritzen und durch Verdichtung der Dämpfe im Condensator sich sammelnde Wasser

Fig. 531.



wird durch eine besondere Pumpe fortgeschafft, welche die **Condensatorpumpe** oder auch die **Luftpumpe** heißt, weil sie außer dem Wasser auch die Luft fortschafft, welche sich im Kessel beim Kochen des Wassers entbindet und mit den Dämpfen durch die Maschine läuft.

Bei der **Watt'schen** Maschine wird die Bewegung der Kolbenstange zunächst auf einen zweiarmigen Hebel, den **Balancier** DF, Fig. 530, über-

tragen, an dessen anderem Ende die Bleuelstange *G* befestigt ist, welche die Umdrehung der Kurbel bewirkt.

Auch hier geschieht die Führung des Schiebers durch eine excentrische Scheibe und der Regulator dieser Maschine wirkt ganz in ähnlicher Weise, wie bei der Hochdruckmaschine.

Mit Hülfe der Druckpumpe *m* wird das durch die Röhre *n* aus dem Condensator kommende warme Wasser durch die Röhre *p* u. s. w. zum Kessel gebracht; durch die Pumpe *q* wird fortwährend Wasser in den Raum geschafft, in welchem der Condensator steht. Die Stangen beider Pumpen sind an Balanciers angehängt, sie werden also geführt wie die Luftpumpe.

Berechnung des Effects der Dampfmaschinen. Der Effect, 203
welchen eine Dampfmaschine hervorzubringen im Stande ist, die Kraft der Maschine, hängt von der Wassermenge ab, die in einer gegebenen Zeit im Kessel in Dampf verwandelt wird; untersuchen wir deshalb, welche Wirkung 1 Liter Wasser in Dampfform hervorzubringen im Stande ist. — Nehmen wir an, die Kolbenfläche betrage 1 Quadratdecimeter, die Höhe des Cylinders (die Hubshöhe) aber sei 10 Decimeter, so ist der Inhalt des Cylinders 10 Cubikdecimeter oder 10 Liter; um also den Kolben von unten bis oben zu treiben, müssen 10 Liter Dampf aus dem Kessel in den Cylinder übergehen. Wenn nun der Dampf eine Spannkraft von einer Atmosphäre hat, so ist der Druck, den er auf jedes Quadratcentimeter der Kolbenfläche ausübt, ungefähr 1 Kilogramm, der Gesammtdruck auf den ganzen Kolben beträgt demnach 100 Kilogramme; wenn also gar keine Bewegungshindernisse vorhanden wären, so könnte man den Kolben mit 100 Kilogrammen belasten, und diese 100 Kilogramme würden 10 Decimeter hoch gehoben, wenn man 10 Liter Wasserdampf von 100 Grad in den Cylinder führt. Der Effect also, den 10 Liter Wasserdampf von 100° hervorbringen können, ist der Hebung von 100 Kilogrammen auf eine Höhe von 1 Meter äquivalent. Ein Liter Wasser giebt aber 1700 Liter Wasserdampf von 100°; mit 1 Liter Wasser, in Dampf von 100° verwandelt, kann man also einen Effect hervorbringen, welcher der Hebung von 17000 Kilogrammen auf eine Höhe von 1 Meter äquivalent ist.

Um die Kraft der Maschine besser übersehen zu können, vergleicht man sie gewöhnlich mit Pferdekräften. Nimmt man an, daß ein Pferd in einer Secunde eine Last von 75 Kilogrammen 1 Meter hoch heben könne (in der That ergiebt sich aus den besten Beobachtungen über die Arbeit der Pferde, daß sie bei zweckmäßigster Verwendung ihrer Kräfte bei andauernder Arbeit einen Effect hervorbringen, welcher dem erwähnten äquivalent ist), so würde man sagen, daß eine Maschine, in welcher in jeder Secunde so viel Dampf erzeugt wird, als nöthig ist, um 75 Kilogramme 1 Meter (oder 500 Pfund 1 Fuß) hoch zu heben, eine Dampfmaschine von 1 Pferdekraft sei.

Nun kann aber der Wasserdampf, welcher aus 1 Liter Wasser erhalten wird, 17000 Kilogramme 1 Meter hoch heben; wenn also im Kessel

1 Liter Wasser in $\frac{17000}{75}$, also in 226 Secunden verdampft wird, so ist der Totaleffect, den dieser Dampf in der Maschine hervorbringen kann, einer Pferdekraft gleich. Eine solche Maschine verzehrt also in einer Stunde ungefähr 15 Liter Wasser.

Pambour hat darauf aufmerksam gemacht, daß in der Berechnung der Kraft der Dampfmaschinen häufig dadurch Fehler gemacht werden, daß man den Druck des Dampfes gegen den Kolben der Maschine gleich demjenigen annimmt, welchen das Manometer des Kessels zeigt. Die Spannung des Dampfes im Kessel ist fast immer höher als im Cylinder.

Nicht alle mechanische Kraft des Dampfes kann aber als Nutzeffect angeschlagen werden. Sehr viel geht verloren, weil der Kolben nicht gegen einen leeren Raum drückt, weil die Reibung des Kolbens überwunden werden muß, weil mehrere Pumpen in Bewegung gesetzt werden müssen u. s. w. Alle diese Widerstände verringern den Nutzeffect der Maschine fast auf die Hälfte des oben berechneten.

Einen großen Vortheil hat man bei den Hochdruckmaschinen durch Anwendung der Expansion des Dampfes im Cylinder erlangt, welche dadurch hervorgebracht wird, daß der Zufluß des Dampfes aus dem Dampfkessel in den Cylinder abgesperrt wird, wenn der Kolben erst einen Theil seines Weges, etwa $^1/_2$, $^2/_3$ u. s. w. zurückgelegt hat. Daß durch Anwendung des Expansionsprincips bei gleichem Dampfverbrauch ein größerer Effect hervorgebracht wird, läßt sich durch folgende einfache Betrachtung einsehen.

In einen Dampfcylinder ströme während des ganzen Kolbenhubs, wie dies bei gewöhnlichen Maschinen der Fall ist, Dampf ein, dessen Spannkraft wir zu zwei Atmosphären annehmen wollen, so ist am Ende des Kolbenhubs der ganze Cylinder mit Dampf von zwei Atmosphären Spannkraft gefüllt, und während dieses Kolbenhubs ist ein mechanischer Effect hervorgebracht worden, den wir mit E bezeichnen wollen.

Ließe man in denselben Cylinder Dampf von doppelter, also von vier Atmosphären Spannkraft eintreten, so würde der Druck gegen den Kolben doppelt so groß sein, und der mechanische Effect E würde schon hervorgebracht worden sein, wenn der Kolben erst den halben Hub vollendet hat, wenn er in der Mitte des Cylinders angekommen ist. Wird nun in diesem Momente der fernere Zufluß des Dampfes in den Cylinder abgesperrt, so wird der Kolben die übrige Hälfte seines Weges fortsetzen, während der Druck, der ihn treibt, nach und nach bis zur Hälfte abnimmt, denn wenn er am Ende seiner Bahn ankommt, so ist die Spannkraft des Dampfes noch zwei Atmosphären.

Da schon während der ersten Hälfte des Kolbenhubs der mechanische Effect E hervorgebracht worden ist, so ist der ganze Effect, welchen der Dampf während der zweiten Hälfte des Kolbenhubs hervorbringt, während er sich also so ausdehnt, daß seine Spannkraft von vier Atmosphären bis zu zwei Atmosphären abnimmt, als Gewinn zu betrachten; denn die Quantität des Dampfes, welche am Ende des Kolbenhubs den Cylinder erfüllt, ist gerade eben so groß, als

ob während des ganzen Kolbenhubs Dampf von zwei Atmosphären Spannkraft angeströmt wäre.

Die verschiedenen Vorrichtungen, durch welche eine rechtzeitige Absperrung des Dampfes in den Expansionsmaschinen bewirkt wird, können wir hier nicht näher betrachten.

Mischung der Dämpfe mit Gasen. Flüssigkeiten, welche sich 204 nicht chemisch mit einander verbinden, können wohl auf einige Augenblicke gemengt sein; bald aber trennen sie sich, sie lagern sich nach der Ordnung ihrer Dichtigkeit über einander, wie z. B. das Oel auf dem Wasser schwimmt. Wenn sich die Gase und Dämpfe ähnlich verhielten, so würde sich auf unserer Erdoberfläche Alles ändern müssen; die Dämpfe z. B., welche sich auf der Oberfläche der Gewässer bilden, würden ihres geringeren specifischen Gewichtes wegen aufsteigen und so bis zu den äußersten Gränzen der Atmosphäre getrieben werden. Bei der immer fortdauernden Verdunstung würden zuletzt alle Seen und Meere austrocknen, und alles Wasser der Erde würde als Wasserdampf über der Atmosphäre schweben.

Man sieht also, daß die gasförmigen Körper bei ihrer Mischung nicht demselben Gesetze folgen können wie die Flüssigkeiten, daß sie sich nämlich nicht nach ihrem specifischen Gewichte schichten.

Diese Fundamentalwahrheit ist durch einen directen Versuch außer Zweifel gesetzt worden. Berthollet verband zwei Ballons, von denen der eine mit Wasserstoffgas, der andere mit Kohlensäuregas gefüllt war, durch eine Röhre, die mittelst eines Hahns gesperrt werden konnte. Nachdem der Apparat so aufgestellt war, daß der mit dem leichteren Wasserstoffgas gefüllte Ballon über dem anderen stand, wurde der Hahn geöffnet. Nach einiger Zeit hatte sich die Hälfte des Wasserstoffgases trotz seiner Leichtigkeit in dem unteren Ballon verbreitet, während die Hälfte des Kohlensäuregases in den oberen Ballon hinaufgestiegen war.

Fig. 532.



Man kann den Versuch am einfachsten anstellen, wenn man zwei Glasgefäße, von denen das eine *a* mit Wasserstoffgas, das andere *e* mit Kohlensäure gefüllt ist, so verbindet, wie man Fig. 532 sieht. Nach einiger Zeit findet man die Gase auf die angegebene Weise gemischt. Jedes Gas verbreitet sich also gleichförmig in dem ganzen Raume gerade so, als ob das andere gar nicht da wäre.

Was für die Mischung zweier Gase gilt, gilt auch für mehrere. Das allgemeine Princip, nach welchem die Mischung gasförmiger Körper vor sich geht, ist folgendes: Wenn man in einen und denselben Raum verschiedene Gase bringt, welche keine chemische Wirkung auf einander ausüben, so verbreitet sich jedes gleichförmig durch den ganzen Raum; die Spann-

kraft des Gasgemenges aber ist gleich der Summe der Spannkräfte, welches jedes einzelne Gas haben würde, wenn es für sich allein den ganzen Raum ausfüllte.

Dämpfe verhalten sich in dieser Beziehung vollkommen ebenso wie Gase; und wenn in einen mit Gas gefüllten Raum eine Flüssigkeit gebracht wird, so bilden sich in diesem Raume gerade ebenso viel Dämpfe, als ob der Raum vollkommen leer wäre; die Spannkraft ist also die Summe der Spannkraft des Gases und der Spannkraft des gesättigten Dampfes. Ein Beispiel mag dies deutlicher machen. Gesetzt, man brächte etwas Wasser in einen Raum von 1700 Cub.-Cent., der schon Luft von 100° und einer Tension von 760^{mm} enthält, so wird in diesem Raume 1 Gramm Wasser verdampfen, also gerade so viel, als ob der Raum vollkommen luftleer gewesen wäre. Die Spannkraft dieses Gemenges von Luft und Wasserdampf aber ist die Summe der Spannkraft der Luft, 760^{mm}, und der Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes von 100°, welche ebenso groß ist; sie ist also gleich dem Drucke von zwei Atmosphären.

Es läßt sich dies durch den Versuch auf folgende Art nachweisen. Man fülle eine Toricelli'sche Röhre, Fig. 533, bis auf ein kleines Stück mit Quecksilber, und tauche sie in das Quecksilber des Gefäßes *ab*. Gesetzt, man habe beim Füllen der Röhre 5^{mm} frei gelassen; nachdem man die Röhre umgekehrt und den Finger weggezogen hat, habe sich die Luft auf einen 5fachen Raum ausgedehnt, so daß die Luft im oberen Theile der Röhre eine Länge von 25^{mm} einnimmt, so wird ihre Tension $^1/_5$ des Barometerstandes, also 152^{mm} sein, wenn der Barometerstand 760^{mm} ist; die Höhe der Quecksilbersäule im Toricelli'schen Rohre muß demnach noch eine Höhe von 608^{mm} haben. Nun bringe man etwas Schwefeläther in den oberen Theil der Röhre, so sinkt die Quecksilbersäule noch tiefer. Durch Niederdrücken der ganzen Röhre kann man es nun leicht dahin bringen, daß der obere, nicht mit Quecksilber angefüllte Raum der Röhre wieder gerade so groß ist, als vor dem Eindringen des Aethers, daß er also für unseren Fall wieder 25^{mm} beträgt. Nun ist die Luft noch in demselben Raume verbreitet wie vorher, allein in diesem Raume befindet sich jetzt außer der Luft noch Aetherdampf, und zwar gerade so viel, als ob gar keine Luft da wäre. Die Spannkraft des Gemenges von Luft- und Aetherdampf muß also gleich sein der Summe der Spannkraft der schon vorher vorhandenen Luft, für unseren Fall 152^{mm}, + der Spannkraft des gesättigten Aetherdampfes für die herrschende Temperatur. Diese Temperatur sei 15°. Die Tension des gesättigten Aetherdampfes für 15° ist 330^{mm}; die Summe der Spannkräfte der Luft und des Aetherdampfes ist also $152 + 330 = 482^{mm}$. Die Depression der Quecksilbersäule muß demnach 482^{mm} betragen, die Höhe der Quecksilberkuppe über dem Niveau in *ab* muß demnach noch $760 - 482 = 278^{mm}$ sein, was der Versuch auch vollkommen bestätigt.

Diese Art des Versuches ist jedoch nur für Luft von geringer Tension beweisend; daß sich aber auch in einem Raume, welcher mit Luft von atmosphärischer Dichtigkeit gefüllt ist, vollkommen ebenso viel Dampf bildet als ob der

Raum leer wäre, läßt sich mit dem Apparate Fig. 534 zeigen. *t* ist eine weite graduirte Glasröhre, welche mit ihrem offenen Ende in eine eiserne, mit einem eisernen Hahn *r* versehene Fassung eingekittet ist. An die Röhre *t* ist seitlich eine engere, gleichfalls graduirte Glasröhre *s* angelöthet, wie man in der Figur sieht. Nachdem der ganze Apparat mit Quecksilber gefüllt worden ist, wird der Hahn *r* geöffnet. In dem Maße nun, in welchem hier Quecksilber ausläuft, sinkt das Niveau desselben in der Röhre *s* allmälig bis *v*, und von dem Augenblicke an werden bei fortdauerndem Ausfließen des Quecksilbers durch *r* Luftblasen in die Röhre *t* eindringen.

Fig. 533.

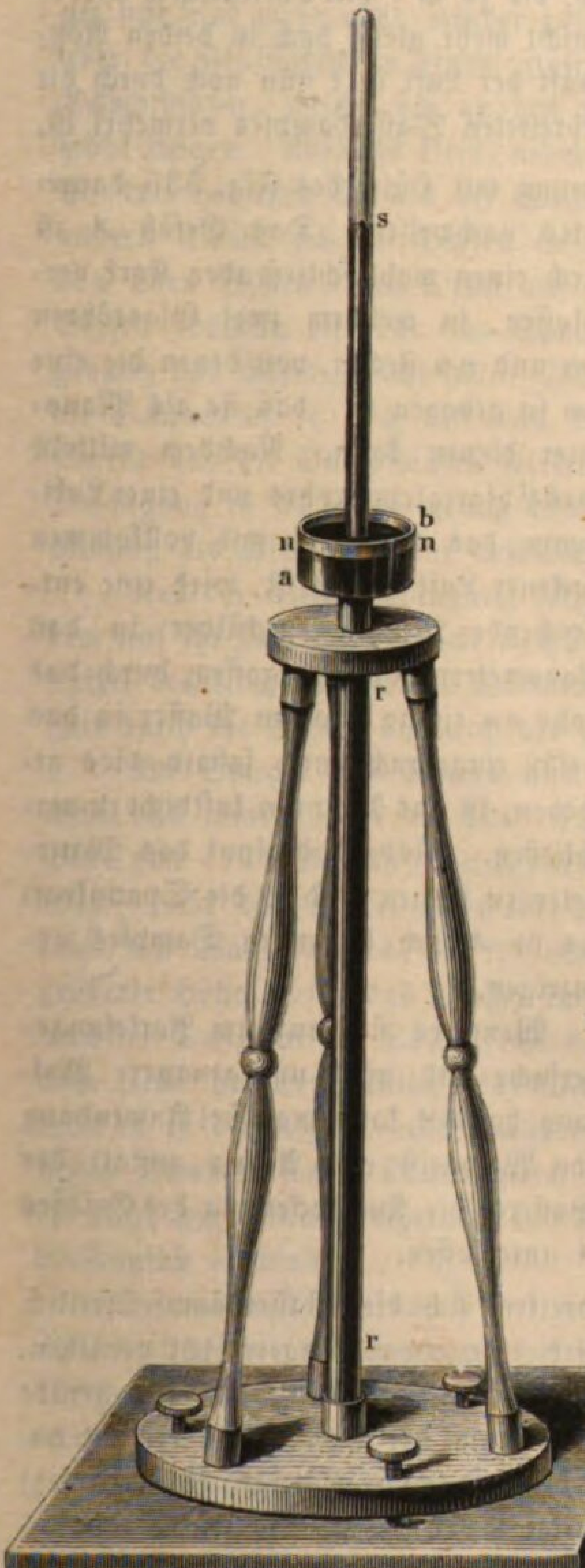
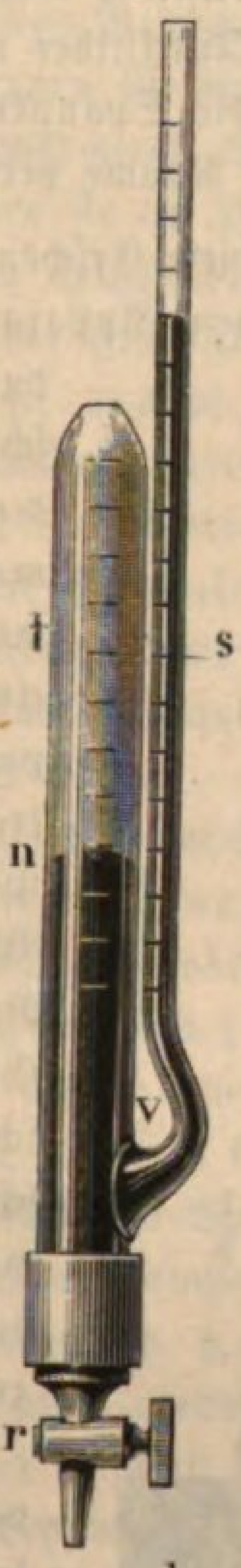


Fig. 534



Auf diese Weise wird die Röhre *t* ungefähr zur Hälfte mit Luft gefüllt; damit aber diese durch die Röhre *s* eindringende Luft vollkommen trocken sei, muß man am oberen Ende von *s* ein Chlorcalciumrohr befestigen, so daß alle in den Apparat eintretende Luft erst durch dieses hindurchstreichen muß.

Nachdem so der obere Theil von *t* mit trockener Luft gefüllt ist, wird *r* geschlossen und in *s* so viel Quecksilber nachgefüllt, daß es in beiden Röhren gleich hoch steht, daß also die in *t* eingeschlossene Luft gerade unter dem Drucke der Atmosphäre steht.

Nachdem man sich nun den Theilstrich gemerkt hat, bis zu welchem das Quecksilber gerade in *t* steht (wir wollen ihn mit *n* bezeichnen), bringt man

einige Tropfen Wasser in die Röhre *s* und öffnet den Hahn *r* so lange, bis etwas von diesem Wasser in das Rohr *t* eingedrungen ist.

Füllt man nun in *s* Quecksilber nach, bis es in *t* den Theilstrich *n* wieder erreicht hat, so steht jetzt das Quecksilber nicht mehr gleich hoch in beiden Röhren, sondern höher in *s*, weil die Spannkraft der Luft in *t* nun noch durch die Spannkraft des in demselben Raume verbreiteten Wasserdampfes vermehrt ist.

Am einfachsten läßt sich diese Erscheinung mit Hülfe des Fig. 535 dargestellten, von Frick angegebenen Apparates nachweisen. Das Gefäß *A* ist durch einen wohl schließenden Kork verschlossen, in welchem zwei Glasröhren *mm* und *nn* stecken, von denen die eine *mm* so gebogen ist, daß sie als Manometer dienen kann. Nachdem mittelst eines Chlorcalciumrohrs und einer Luftpumpe das Gefäß *A* mit vollkommen trockener Luft gefüllt ist, wird eine entsprechende Menge Quecksilber in das Manometerrohr *mm* gegossen, durch das Rohr *nn* einige Tropfen Wasser in das Gefäß eingebracht und sobald dies geschehen, ist das Rohr *nn* luftdicht zu verschließen. Alsbald beginnt das Manometer zu steigen und so die Spannkraft des in *A* sich bildenden Dampfes anzuzeigen.

Fig. 535.



Wenn es sich nur um Vorlesungsversuche und nicht um genauere Messung handelt, kann man bei Anwendung von Weingeist oder Aether anstatt des Wassers, die Austrockenung des Gefäßes *A* unterlassen.

In dem lufterfüllten Raume verbreiten sich die Wasserdämpfe freilich langsamer als im luftleeren, deshalb wird eine etwas längere Zeit vergehen, bis die Wasserdämpfe in *t*, Fig. 534, oder in *A*, Fig. 535, das der gerade herrschenden Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft erreicht haben. Ist aber einmal die Luft in *t* mit Wasserdampf gesättigt, so wird jetzt das Quecksilber in *s* um so viel Millimeter höher stehen, als es die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes bei der Temperatur der umgebenden Luft erfordert.

205 **Abhängigkeit des Siedepunktes vom Drucke.** Die Verwandlung der Flüssigkeiten in gasförmige Körper nennt man im Allgemeinen Verdampfung. Die Flüssigkeiten verdampfen entweder durch das Kochen, wenn

sich durch die ganze Masse der Flüssigkeit Dämpfe bilden, oder durch Verdunsten, wenn die Dampfbildung bloß an der Oberfläche vor sich geht.

Wenn man das Kochen einer Flüssigkeit beobachtet, sieht man in der Regel nur eine mehr oder minder heftige Bewegung aller Theilchen; wenn man aber die Flüssigkeit in einem gläsernen Gefäße kochen läßt, so sieht man die Dampfblasen, welche sich an den wärmeren Gefäßwänden bilden und in die Höhe steigen. Anfangs klein, nehmen sie an Volumen zu, je mehr sie steigen. An den heißesten Stellen der Wand folgen die Blasen am schnellsten auf einander. Damit sich die Blasen in der Flüssigkeit bilden können, welche doch von allen Seiten einen Druck auf sie ausübt, muß der Dampf, welcher die Blasen ausfüllt, offenbar eine Spannkraft haben, welche dem Drucke der Umgebung das Gleichgewicht hält. Die erste Bedingung des Kochens ist also, daß die Temperatur so hoch sei, daß die Spannkraft der Dämpfe den von allen Seiten auf die Dampfblasen wirkenden Druck aushalten kann. Eine zweite Bedingung ist die, daß genug Wärme vorhanden sei, welche bei der Dampfbildung als latente Wärme absorbirt wird.

Aus der ersten Bedingung folgt, daß der Siedepunkt einer Flüssigkeit mit dem auf ihr lastenden Drucke wechselt, aus der zweiten aber, daß die Schnelligkeit des Kochens von der Wärmemenge abhängt, welche in einer gegebenen Zeit durch die Wände hindurch der Flüssigkeit zugeführt wird.

Am Spiegel des Meeres und unter dem mittleren Drucke von 760^{mm} kocht das reine Wasser bei 100° C.; auf dem Gipfel des Montblanc, in einer Höhe von 4772 Metern, wo der Druck der Atmosphäre nur noch 417^{mm} beträgt, kocht das Wasser schon bei einer Temperatur, bei welcher die Spannkraft des Wasserdampfes 417^{mm} beträgt, d. h. ungefähr bei 84°. In noch größerer Höhe würde das Wasser bei noch niedriger Temperatur sieden. Wenn man die Tafel für die Spannkraft der Dämpfe einer Flüssigkeit hat, so kann man leicht die Temperatur des Siedepunktes bei gegebenem Drucke finden, denn es ist derjenige Temperaturgrad, für welchen die Spannkraft des gesättigten Dampfes jenem Drucke gleich ist. Umgekehrt kann man eine Flüssigkeit bei einer gegebenen Temperatur ins Kochen bringen, wenn man nur den Druck hinlänglich vermindert.

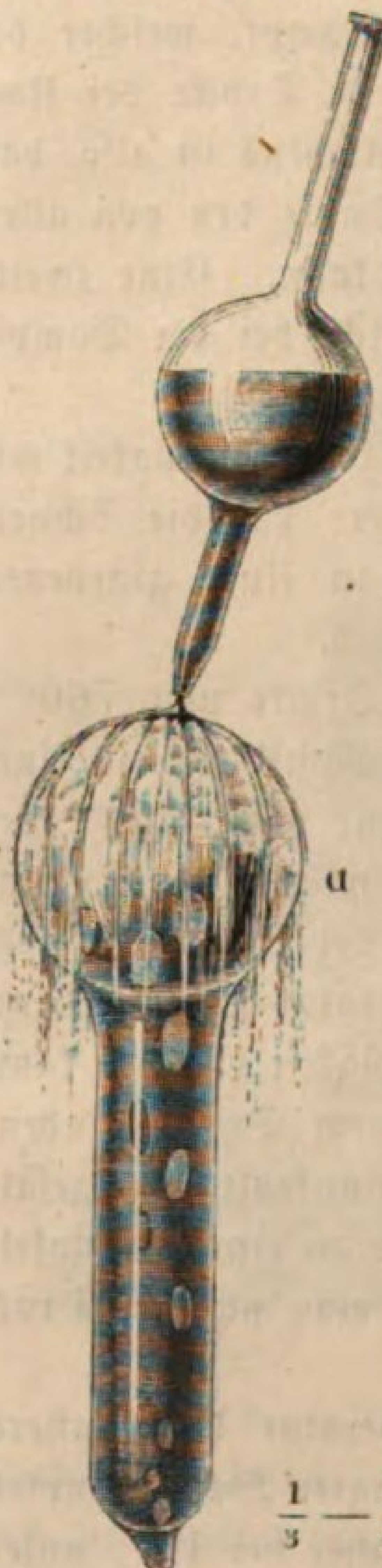
Bei einem Drucke von 40^{mm} z. B. ist die Siedetemperatur des Wassers 35°, weil bei dieser Temperatur die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes 40^{mm} ist. Unter einem Drucke von 10^{mm} siedet das Wasser bei 11°, unter einem Drucke von 5^{mm} bei 0°.

Die Wahrheit dieser Folgerungen läßt sich leicht durch den Versuch nachweisen. Man bringt Wasser von ungefähr 50° in einem Glasgefäße unter den Recipienten der Luftpumpe. Nach einigen Kolbenzügen zeigt die Barometerprobe nur noch einen Druck von 89^{mm}, und nun beginnt das Kochen mit Heftigkeit gerade so, als ob das Wasser an freier Luft über einem lebhaften Feuer stände. Dieses Sieden hört aber bald auf, weil der Dampf den Recipienten erfüllt und selbst auf die Flüssigkeit drückt, ein neuer Kolbenzug aber nimmt diesen Dampf wieder weg und macht, daß das Kochen von Neuem be-

ginnt. Mit unseren Luftpumpen ist es nicht möglich, das Wasser bei 0° ins Sieden zu bringen, weil man keine Verdünnung von 5mm hervorbringen kann, indem sich beständig Dampf an der Oberfläche des Wassers bildet.

An dem Fig. 536 abgebildeten Apparate beobachtet man eine noch auffallendere, hierher gehörige Erscheinung. Ein Ballon *a* mit langem, zu einer Spitze ausgezogenen Halse wird über die Hälfte mit Wasser gefüllt; wenn durch Kochen desselben alle Luft ausgetrieben ist, wird die Spitze mit dem Löthrohre zugeschmolzen. Auf dem Wasser in diesem Apparate lastet natürlich kein anderer Druck als der der eingeschlossenen Wasserdämpfe. Hat man nun das Wasser in diesem Apparate dadurch, daß man ihn eine Zeit lang in kochendes Wasser eintaucht, nahe auf 100° erwärmt, so wird, wenn man ihn umkehrt, wie die Figur zeigt, und aus einer Pipette kaltes Wasser darauf laufen läßt, augenblicklich ein lebhaftes Kochen eintreten. Es ist dies die Folge davon, daß durch die Abkühlung der Dampf im oberen Theile des Ballons verdichtet und dadurch der auf der Flüssigkeit lastende Druck vermindert wird.

Fig. 536.



Die Variationen des Siedepunktes hat man auch durch directe Versuche an hochgelegenen Orten der Alpen, der Pyrenäen und anderer Gebirge bestätigt.

Das kochende Wasser ist also nicht an allen Orten der Erde gleich warm, und folglich ist es nicht überall gleich tauglich zu häuslichen Zwecken, zur Bereitung der Speisen. In Quito z. B. kocht das Wasser schon bei 90°, und diese Temperatur ist zum Kochen mancher Substanzen zu niedrig, welche eine Temperatur von 100° erfordern.

Da der Barometerstand an einem und demselben Orte fortwährend schwankt, so folgt, daß der Siedepunkt in jedem Augenblicke variirt. Zu Paris sind die äußersten Gränzen des Barometerstandes, welche man in 20 Jahren beobachtet hat, 719mm und 781mm. Dem höchsten Stande von 781mm entspricht ein Siedepunkt von 100,8°, dem niedrigsten Barometerstande von 719mm aber ein Siedepunkt von 99,5°.

206 **Hypsometrische Thermometer.** Um die Schwankungen des Barometers mit Sicherheit aus Thermometerbeobachtungen über den Siedepunkt des Wassers ableiten zu können, ist es durchaus nöthig, daß die einzelnen Grade des Thermometers lang genug sind, um wenigstens noch in 10 gleiche Theile getheilt werden zu können. In der That entspricht bei mittlerem Luftdrucke ein Sinken des Barometers von 1mm einer Senkung des Siedepunktes um

$^1/_{27}{}^0$ C., eine Senkung des Siedepunktes um $^1/_{10}{}^0$ C. entspricht also nahezu einem Sinken des Barometers um 1 pariser Linie.

Die folgende Tabelle enthält, nach **Regnault**, die zusammengehörigen Werthe der Spannkraft des Wasserdampfes und des Siedepunktes von 85° C. bis 101° C.

Siedepunkt C.°	Spannkraft mm.	Differenz.	Siedepunkt C.°	Spannkraft mm.	Differenz.
85,0	433,04		98,0	707,26	
85,5	441,62	8,58	1	709,82	2,56
86,0	450,34	8,72	2	712,39	2,57
86,5	459,21	8,87	3	714,97	2,58
87,0	468,22	9,01	4	717,56	2,59
87,5	477,38	9,16	5	720,15	2,59
88,0	486,69	9,31	6	722,75	2,60
88,5	496,15	9,46	7	725,35	2,60
89,0	505,76	9,61	8	727,96	2,61
89,5	515,53	9,77	9	730,58	2,62
90,0	525,45	9,92	99,0	733,21	2,63
90,5	535,53	10,08	1	735,85	2,64
91,0	545,78	10,25	2	738,50	2,65
91,5	556,19	10,41	3	741,16	2,66
92,0	566,76	10,57	4	743,83	2,67
92,5	577,50	10,74	5	746,50	2,67
93,0	588,41	10,91	6	749,18	2,68
93,5	599,49	11,08	7	751,87	2,69
94,0	610,74	11,25	8	754,57	2,70
94,5	622,17	11,43	9	757,28	2,71
95,0	633,78	11,61	100,0	760,00	2,72
95,5	645,57	11,79	1	762,73	2,73
96,0	657,54	11,97	2	765,46	2,73
96,5	669,69	12,15	3	768,20	2,74
97,0	682,03	12,34	4	771,95	2,75
97,5	694,56	12,53	5	773,71	2,76
			101,0	787,63	

Man sieht wohl ein, daß ein Thermometer, welches mindestens in Zehntel-Grade getheilt ist und bei welchen $^1/_{10}$ Grad doch auch die Länge von ungefähr 1 Millimeter einnehmen soll, eine enorme Länge haben müßte, wenn es

die ganze Theilung von 0 bis 100° enthalten sollte. Man macht deshalb die Thermometer, welche zu den fraglichen Siedepunktsbestimmungen dienen sollen so, daß die Röhre nur den oberen Theil der Scala, etwa von 85° bis 101° oder von 95° bis 101° enthält, daß also für niedrigere Temperaturen das Quecksilber das Gefäß nicht ganz ausfüllt und erst in das Rohr tritt, wenn eine höhere Temperatur, etwa 85 oder 95° erreicht ist.

Wollaston hat zuerst solche Thermometer construirt, deren Scala nur einen Umfang von 3 Graden hatte, an welchen aber jeder Grad eine Länge von 5 Centimeter einnahm. Regnault hat mit Hülfe solcher Thermometer einen besonderen, zu Höhenmessungen bestimmten Apparat construirt. Näheres darüber in der kosmischen Physik.

Nach dieser Auseinandersetzung begreift man wohl, daß die Bestimmung des Siedepunktes einer Correction bedarf, wenn der Barometerstand nicht gerade 760mm betrug. Wäre z. B. der Barometerstand gerade 733mm gewesen, als man nach der S. 480 angegebenen Methode den Siedepunkt markirte, so würde der bezeichnete Punkt nicht 100, sondern nur 99° entsprechen, man hätte also den Zwischenraum zwischen ihm und dem Gefrierpunkt in 99 gleiche Theile zu theilen. Mit Hülfe der Tabelle auf Seite 593 kann man jederzeit leicht berechnen, wie weit der Punkt 100° noch von dem beobachteten Siedepunkt absteht, wenn der Barometerstand im Moment der Beobachtung ein anderer war als 760mm.

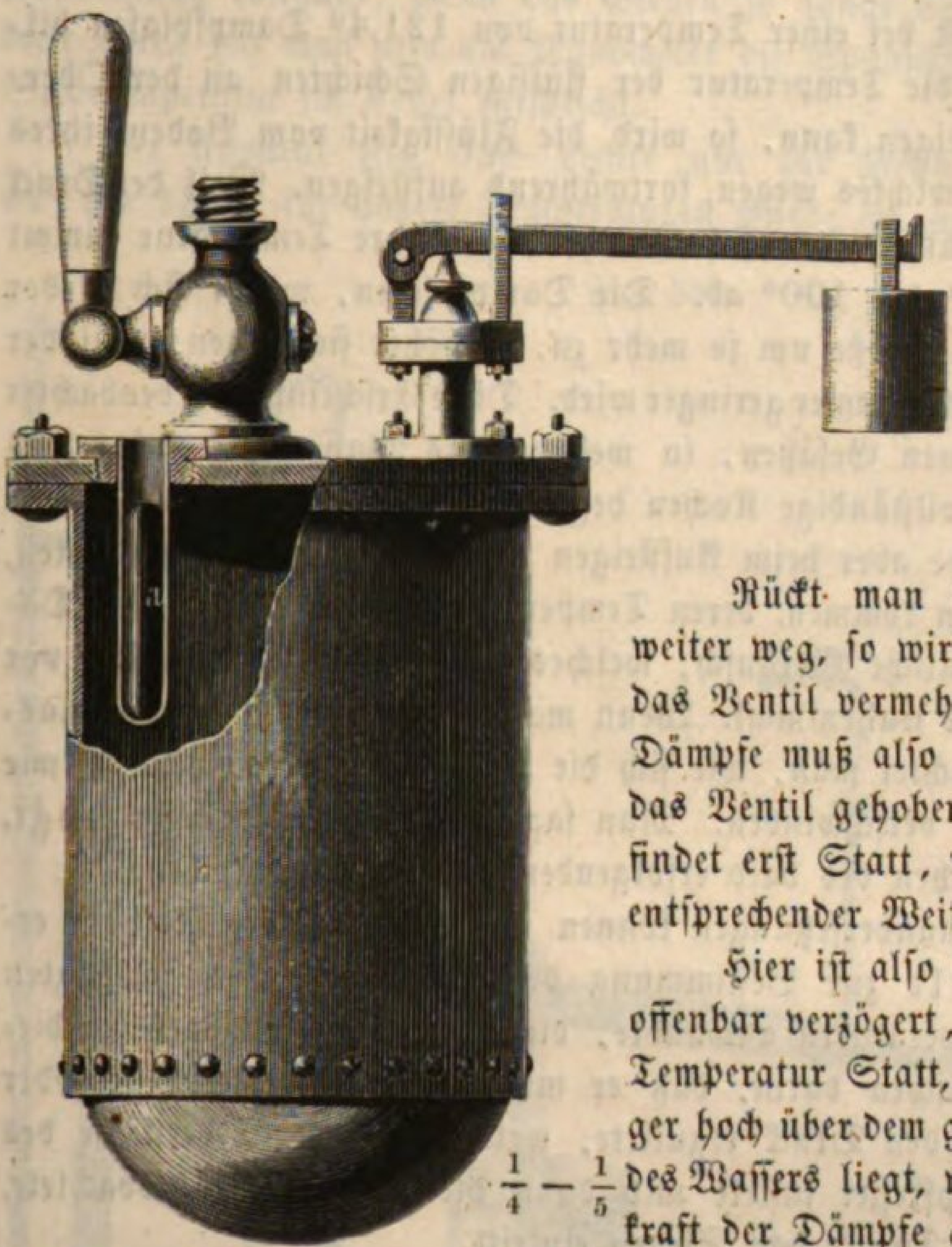
207 **Sieden des Wassers bei hohem Druck.** Wenn man den Druck auf die Flüssigkeit vermehrt, so wird dadurch das Kochen verzögert, und man kann es ganz verhindern, wenn man nur den Druck stark genug macht. Es läßt sich dies an jedem mit einem Sicherheitsventil versehenen Dampfkessel nachweisen, bei welchem dafür gesorgt ist, daß man die Temperatur der Dämpfe im Inneren messen kann, wie dies bei dem kleinen Dampfkessel Fig. 537 der Fall ist. In dem fest aufgeschraubten Deckel befinden sich drei Oeffnungen; auf der einen ist ein Sicherheitsventil von der bereits Bd. I. Seite 53 betrachteten Einrichtung angebracht; in die zweite Oeffnung ist ein in den Kessel hineinragendes Röhrchen *a* von Eisenblech aufgeschraubt, welches zum Theil mit Quecksilber gefüllt wird. Auf der dritten Oeffnung endlich sitzt ein kurzes Rohr, welches durch einen Hahn verschlossen werden und auf welches man verschiedene Ausströmungsöffnungen aufschrauben kann.

Wird der bis zu $^2/_3$ seiner Höhe mit Wasser gefüllte Kessel genügend erhitzt, so kommt das Wasser nach einiger Zeit ins Kochen, wenn der Hahn geöffnet ist; ein in das Quecksilber des Rohres *a* eingetauchtes Thermometer zeigt constant die Temperatur des Siedepunktes. Sobald man aber den Hahn schließt, also das Abziehen der Dämpfe hindert, steigt sogleich das Thermometer, und die Spannkraft der Dämpfe im Kessel wächst, bis sie endlich groß genug ist, um das Sicherheitsventil zu heben und hier einen Ausweg zu erzwingen.

Gesetzt, der Querschnitt der Ventilfläche betrage ein Quadratcentimeter, und

an den Hebel sei ein Gewicht so angehängt, daß das Ventil durch einen Druck von 1 Kilogramm belastet ist, so wird der Dampf zum Ventil herausblasen

Fig. 537.



$\frac{1}{4} - \frac{1}{5}$

(abblasen), wenn das Thermometer auf 121° C. gestiegen ist; denn bei dieser Temperatur ist die Spannkraft des Dampfes gleich dem Drucke von zwei Atmosphären, und dies ist der Druck, welcher, den Luftdruck selbst mitgerechnet, auf dem Ventil lastet.

Rückt man das Gewicht am Hebel weiter weg, so wird dadurch der Druck auf das Ventil vermehrt, die Spannkraft der Dämpfe muß also gesteigert werden, wenn das Ventil gehoben werden soll, und dies findet erst Statt, wenn die Temperatur in entsprechender Weise gestiegen ist.

Hier ist also das Kochen des Wassers offenbar verzögert, es findet erst bei einer Temperatur Statt, welche mehr oder weniger hoch über dem gewöhnlichen Siedepunkte des Wassers liegt, wenn nämlich die Spannkraft der Dämpfe groß genug ist, um das Ventil zu heben, so daß ein beständiges Abblasen durch dasselbe stattfindet.

Die ersten Versuche mit einem solchen kleinen Dampfkessel stellte in der Mitte des 17. Jahrhunderts Papin, ein in Marburg lebender Gelehrter, an, nach welchem dergleichen Apparate auch mit dem Namen des Papiniani'schen Topfes oder des Papiniani'schen Digestors genannt werden. Papin benutzte seinen Digestor, theils um die mechanische Kraft des Wasserdampfes, theils um die auflösende Kraft des über 100° erwärmten Wassers zu zeigen. Mit Erstaunen sah man die Möglichkeit, aus den Knochen eine eben so nahrhafte Substanz auszuziehen, wie aus den saftigsten Muskeltheilen.

Wenn man in einem Gefäße, aus welchem der Dampf nur durch verhältnißmäßig kleine Oeffnungen abziehen kann, Wasser ins Kochen bringt, so beobachtet man eine Erhöhung des Siedepunktes. Durch eine kleine Oeffnung kann nämlich nur dann aller Dampf, welcher durch die in jedem Moment in die Flüssigkeit übergehende Wärme erzeugt wird, ausströmen, wenn durch die größere Spannkraft des Dampfes eine größere Ausströmungsgeschwindigkeit möglich geworden ist.

In einer flüssigen Masse wirkt auf die Theilchen im Inneren nicht allein

der Druck, welcher auf der Oberfläche lastet, sondern auch noch das Gewicht einer Flüssigkeitssäule. Hätte man z. B. einen 32 Fuß tiefen, mit Wasser gefüllten Kessel, so würde am Boden ein Druck von zwei Atmosphären stattfinden, und hier würden sich also erst bei einer Temperatur von 121,4° Dampfblasen bilden können. Da aber die Temperatur der flüssigen Schichten an der Oberfläche nicht über 100° steigen kann, so wird die Flüssigkeit vom Boden, ihres geringeren specifischen Gewichtes wegen, fortwährend aufsteigen. Weil der Druck mit dem Steigen abnimmt, bilden sich Dampfblasen, ihre Temperatur nimmt aber allmälig von 121° bis 100° ab. Die Dampfblasen, welche sich in der Tiefe bilden, nehmen an Größe um so mehr zu, je höher sie steigen, weil der Druck, welcher auf sie wirkt, immer geringer wird. Diese Erscheinungen beobachtet man selbst schon in kleinen Gefäßen, in welchen das Wasser nur einige Zoll tief ist. — Bevor das vollständige Kochen beginnt, bilden sich an dem Boden schon Dampfblasen, welche aber beim Aufsteigen sich plötzlich wieder verdichten, weil sie in Wasserschichten kommen, deren Temperatur noch zu niedrig ist. Daher rührt das eigenthümliche Geräusch, welches man einige Augenblicke vor dem vollständigen Kochen wahrnimmt. Wenn man den Versuch in einem Glaskolben anstellt, so beobachtet man, wie sich die Blasen am Boden bilden, wie sie steigen und alsbald verschwinden. Man sagt alsdann, das Wasser singt. Das Singen ist ein Zeichen des bald erfolgenden vollständigen Kochens.

Nach diesen Auseinandersetzungen können wir nun auch die Methode erörtern, welche Regnault zur Bestimmung der Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes für Temperaturen anwandte, die über 60° hinausgehen; dieselbe besteht im Wesentlichen darin, daß er mittelst einer Verdichtungs- oder Verdünnungsluftpumpe den Druck regulirte, welcher auf der Oberfläche des Wassers in einem Dampfkessel lastete und dann die Temperatur beobachtete, bei welcher unter diesem Drucke das Sieden eintritt.

Durch den Deckel des kleinen kupfernen Dampfkessels *A*, Fig. 538, gehen zwei unten geschlossene eiserne Röhren fast bis auf den Boden, zwei andere ungefähr bis in die Mitte herab. Diese Röhren sind zum Theil mit Quecksilber gefüllt, in welches die Thermometer eingetaucht werden, die zur Beobachtung der Temperatur des Wassers und des Dampfes in *A* dienen. Der nicht ganz zur Hälfte mit Wasser gefüllte Dampfkessel ist durch eine Röhre mit dem ungefähr 24 Liter haltenden Ballon *B* verbunden, die Verbindungsröhre aber ist mit einem Kühlrohre umgeben, so daß der in *A* entwickelte und durch den Einfluß des Kühlrohres wieder verdichtete Dampf in den Kessel zurückfließt. Der Ballon *B* steht durch das Rohr *tt'* mit einer Luftpumpe in Verbindung, mittelst deren man die Luft in *B* nach Belieben verdichten oder verdünnen kann. Die Spannkraft der Luft in *B*, welche auch gleich dem Druck ist, welcher auf dem Wasser in *A* lastet, wird durch ein Manometer mit offenem Schenkel gemessen, welches auf der linken Seite unserer Figur sichtbar ist.

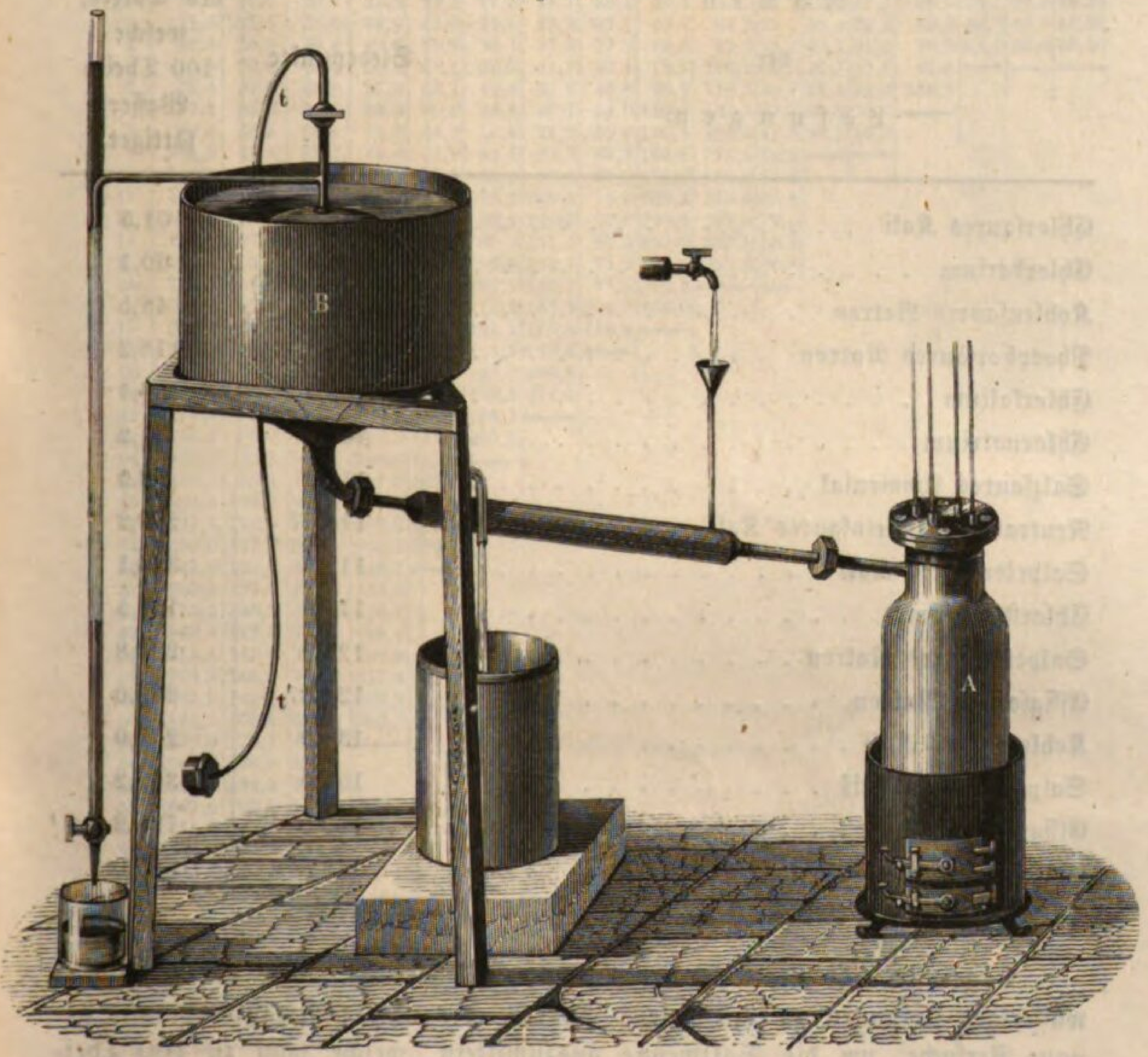
Der Ballon *B* ist mit Wasser umgeben, welches ihn auf constanter Temperatur erhält.

Hat man mittelst der Luftpumpe einen bestimmten am Manometer abge-

lesenen Druck hergestellt, so wird das Wasser in *A* zum Sieden erhitzt. Die Thermometer steigen, bis das Sieden eingetreten ist, dann aber bleiben sie stundenlang constant, wenn das Sieden so lange unterhalten wird. — Auf diese Weise hat man also am Manometer die Spannkraft abgelesen, welche der Siedetemperatur im Kessel entspricht.

Der Apparat Fig. 538 diente nur zur Messung der Spannkraft von 42° bis 150°; für höhere Temperaturen wurde ein nach dem gleichen Princip

Fig. 538.



construirter, aber weit stärkerer Apparat angewendet, dessen offenes Manometer eine Höhe von 22 Metern hatte, also die Messung der Spannkräfte bis zu 30 Atmosphären gestattete.

Einfluß aufgelöster Substanzen auf den Siedepunkt. Der 208
Siedepunkt der Flüssigkeiten erleidet durch Substanzen, welche nur mechanisch in demselben suspendirt sind, keine Veränderung; eine solche Veränderung tritt aber ein, wenn sich die Theilchen des fremden Körpers chemisch mit der Flüs-

sigkeit verbinden. Alle löslichen Salze z. B. erhöhen die Temperatur des Siedepunktes des Wassers. Der Dampf, welcher sich aus solchen Lösungen bildet, ist gerade eben so rein, als ob er aus reinem Wasser sich gebildet hätte.

Die folgende Tabelle enthält nach den Versuchen von Legrand die Siedepunkte einiger gesättigter Lösungen.

Namen der Lösungen.	Siedepunkte.	Quantität des Salzes, welche 100 Theile Wasser sättiget.
Chlorsaures Kali	104,2	61,5
Chlorbarium	104,4	60,1
Kohlensaures Natron	104,6	48,5
Phosphorsaures Natron	106,5	113,2
Chlorkalium	108,3	59,1
Chlornatrium	408,4	41,2
Salzsaures Ammoniak	114,2	88,9
Neutrales weinsteinsaures Kali	114,67	269,2
Salpetersaures Kali	115,9	335,1
Chlorstrontium	117,6	117,5
Salpetersaures Natron	121,0	224,8
Essigsaures Natron	124,37	209,0
Kohlensaures Kali	133,0	205,0
Salpetersaurer Kalk	151,0	362,2
Essigsaures Kali	169,0	798,2
Chlorcalcium	179,5	325,0

Legrand hat sich nicht damit begnügt, die Siedepunkte der gesättigten wässerigen Lösungen zu bestimmen, sondern er machte auch zahlreiche und genaue Versuche, um die Salzmenge auszumitteln, welche man zu 100 Theilen Wasser setzen muß, damit der Siedepunkt um eine bestimmte Anzahl von Graden erhöht wird. Die folgende Tabelle giebt einen Auszug aus seiner Arbeit.

Erhöhung der Siedetemperatur in Graden.	Salpeters. krystallisirtes Ammoniak.	Chlorcalcium.	Essigsaures Kali.	Salpetersaurer Kalk.	Kohlensaures Kali.	Essigsaures Natron.	Salpetersaures Natron.	Chlorstrontium.	Salpetersaures Kali.	Neutrales weinsteinsaures Kali.	Ammoniaksalz.	Chlornatrium.	Chlorkalium.	Phosphorsaures Natron.	Kohlensaures Natron.	Chlorbarium.	Chlorsaures Kali.
1	10,0	10,0	10,5	15,0	13,0	9,9	9,3	16,7	12,2	26,9	7,8	7,7	9,0	23,0	14,4	19,6	14,64
2	20,5	16,5	20,0	25,3	22,5	17,6	18,7	25,2	26,4	47,2	13,9	13,4	17,1	42,8	26,7	32,5	29,28
3	31,3	21,6	28,6	34,4	31,0	23,1	28,2	32,1	42,2	65,0	19,7	18,4	24,5	60,6	36,8	44,5	43,92
4	42,4	25,8	36,4	42,6	38,8	30,5	37,9	37,9	59,6	82,3	25,2	23,1	31,4	76,8	44,7	56,0	58,56
5	53,8	29,4	43,4	50,4	46,1	36,7	47,7	43,4	78,3	100,1	30,5	27,7	37,8	91,8			
6	65,4	32,6	49,8	57,8	53,1	42,9	57,6	48,8	98,2	118,5	35,7	31,8	44,2	106,1			
7	77,3	35,6	55,8	64,9	59,6	49,3	67,7	54,0	119,0	137,3	41,3	35,8	50,5				
8	89,4	38,5	61,6	71,8	65 9	55,8	77,9	59,0	140.6	156,5	47,3	39,7	56,9				
9	101,9	41,3	67,4	78,6	71,9	62,4	88,3	63,9	163,0	176,1	53,5						
10	114,9	44,0	73,3	85,3	77,8	69,2	98,8	68,9	185,9	196,2	59,9						
11	128,4	46,8	79,3	91,9	83,0	76,2	109,5	74,1	209,2	216,8	66,4						
12	142,4	49,7	85,3	98,4	88,2	83,4	120,3	79,6	233,0	237,9	73,3						
13	156,9	52,6	91,4	104,8	93,2	90,9	131,3	85,3	257,6	259,5	80,5						
14	172,0	55,6	97,6	111,2	98,0	98,8	142,4	91,2	283,3	281,6	88,1						
15	188,0	58,6	103,9	117,5	102,8	107,1	153,7	97,5	310,2								
16	204,4	61,6	110,3	123,8	107,5	115,8	165,2	104,0	336,0								
17	221,4	64,6	116,8	130,0	112,3	125,1	176,8	110,9									
18	238,8	67,6	123,4	136,1	117,1	134,9	188,6										
19	256,8	70,6	130,1	142,1	122,0	145,2	200,5										
20	275,3	73,6	136,9	148,1	127,0	156,1	212,6										
22	314,0	79,8	150,8	160,1	137,0	179,3											
24	354,0	86,0	165,1	172,2	147,1	204,5											
26	396,0	92,2	180,1	184,5	157,3												
28	440,2	98,4	196,1	197,0	167,7												
30	487,4	104,6	213,0	209,5	178,1												
32	537,3	110,9	230,6	222,2	188,8												
34	590,0	117,2	248,7	235,1	199,6												
36	645,0	123,5	267,5	248,1													
38	705,5	129,9	287,3	261,3													
40	770,5	136,3	308,3	274,7													
42	840,6	142,8	330,8	288,4													
44	915,5	149,4	354,9	302,6													
46	995,5	156,2	380,6	317,4													
48	1081,5	163,2	407,9	333,2													
50	1173,5	170,5	436,9	351,2													
52	1273,0	178,1	467,6														
54	1383,0	186,0	500,0														
56	1504,0	194,3	534,1														
58	1637,0	203,0	569,9														
60	1775,0	212,1	607,4														
62	1923,0	221,6	646,6														
64	2084,0	231,5	687,6														
66	„	241,9	730,4														
68	„	252,8	775,0														
70	„	264,2															
72	„	276,1															
74	„	288,5															
76	„	301,4															
78	„	314,8															
78	unendl																

Rudberg hat durch genaue Versuche nachgewiesen, daß die Temperatur der aus einer siedenden Salzlösung sich entwickelnden Dämpfe vollkommen der Temperatur derjenigen Dämpfe gleich ist, welche unter gleichem Drucke aus reinem Wasser aufsteigen, die Temperatur der siedenden Salzlösung mag noch so viel die des siedenden Wassers übersteigen.

Man kann sich davon leicht mit Hülfe des Apparates Fig. 539 oder eines ähnlichen überzeugen.

Fig. 539.



Die Erhöhung des Siedepunktes durch Salze, welche im Wasser aufgelöst sind, ist offenbar die Folge einer Anziehung, welche zwischen den Salz- und Wassertheilchen stattfindet, in Folge deren solche Salze ja auch die Wasserdämpfe aus einer feuchten Atmosphäre zu absorbiren vermögen; ferner hängt damit die Thatsache zusammen, daß die Spannkraft der Dämpfe, welche sich aus einer Salzlösung entwickeln, stets geringer ist als die Spannkraft der Dämpfe, welche sich unter fast gleichen Umständen über reinem Wasser bilden.

Diesen letzten Punkt hat Babo zum Gegenstand einer besonderen Untersuchung gemacht. Er stellte Dampfbarometer her, welche über dem Quecksilber statt des reinen Wassers eine Salzlösung enthielten und beobachtete die Spannkraft der über der Salzlösung bei verschiedenen Temperaturen sich bildenden Dämpfe. Für eine Chlorcalciumlösung z. B., deren Siedepunkt 110° war, fand er bei den in der ersten Columne der folgenden Tabelle angegebenen Wärmegraden die in der zweiten Verticalreihe verzeichneten Werthe der Spannkraft, während die denselben Temperaturen entsprechende Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes sich in der dritten Columne findet.

Temperatur.	Spannkraft des Wasserdampfes über der Chlorcalciumlösung.	Spannkraft des Wasserdampfes über reinem Wasser.	q.
19° C.	9	16,3	0,55
35	26,8	41,8	0,641
59	92,8	141,8	0,654
65	121,6	186,6	0,652
78	212	326,8	0,645
			Mittel: 0,648

Dividirt man die Zahlenwerthe der zweiten Columne durch die daneben stehenden Werthe der dritten, so erhält man die in der letzten Verticalreihe stehenden Quotienten, welche, den ersten etwa ausgenommen, sehr nahe gleich sind; zwischen der Spannkraft des Dampfes, welcher sich aus reinem Wasser, und der Spannkraft desjenigen, welcher sich unter sonst gleichen Umständen

aus einer Salzlösung entwickelt, besteht demnach ein constantes Verhältniß, welches sich jedoch mit der Natur des aufgelösten Salzes sowohl als auch mit dem Concentrationsgrade der Flüssigkeit ändert.

Wir werden weiter unten noch einige andere damit in Verbindung stehende Erscheinungen kennen lernen, wenn die latente Wärme der Dämpfe abgehandelt sein wird.

Wenn eine Flüssigkeit mit irgend einer anderen mehr oder weniger flüchtigen gemischt wird, so tritt ebenfalls eine Veränderung des Siedepunktes ein. So wird durch Alkohol der Siedepunkt des Wassers erniedrigt, durch Schwefelsäure aber erhöht.

Auch die Wände der Gefäße üben einen Einfluß auf den Siedepunkt aus; so kocht z. B. das Wasser in metallenen Gefäßen eher als in gläsernen. Man beobachtet häufig, daß das Kochen in Glasgefäßen unter einem heftigen Aufstoßen vor sich geht, welches um so stärker ist, je mehr Cohäsion die Theilchen der Flüssigkeit unter einander haben, und je stärker die Molekularwirkung zwischen den Theilchen der Flüssigkeit und jenen der Gefäßwände ist. Es reicht oft hin, einige Metallstückchen in die Glasgefäße zu werfen, um das Stoßen zu verhindern und das Kochen regelmäßig zu machen.

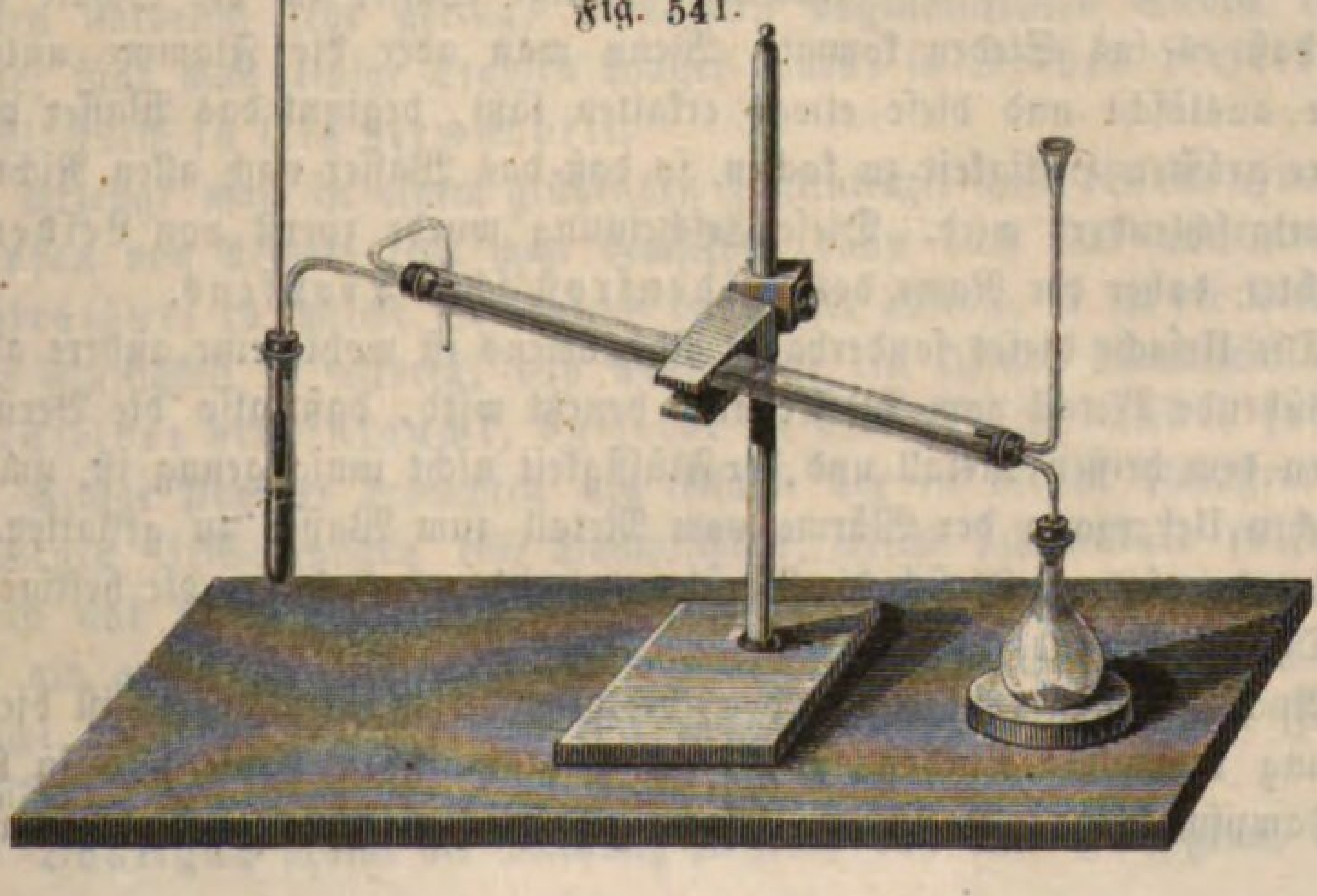
Fig. 540.



Siedepunkte verschiedener Flüssigkeiten. 209

Um den Siedepunkt einer Flüssigkeit zu ermitteln, kann man denselben Apparat anwenden, den man auch gebraucht, um den Siedepunkt des Wassers an einem Thermometerrohre zu markiren. Wenn nur geringe Flüssigkeitsmengen zu Gebote stehen, kann man denselben auch durch den Fig. 540 abgebildeten Apparat ersetzen oder auch durch den Fig. 541, wenn man die Flüssigkeit wieder gewinnen will.

Fig. 541.



Die folgende Tabelle enthält die Siedepunkte mehrerer Flüssigkeiten für einen mittleren Barometerstand von 760^{mm}.

Cyangas	—	18	Grad.
Schweflige Säure . .	—	10	»
Chloräthyl	+	12,5	»
Schwefeläther . . .		37,8	»
Schwefelkohlenstoff . .		47,0	»
Chloroform		60,5	»
Alkohol		79,7	»
Benzin		86,0	»
Terpentinöl		157	»
Phosphor		290	»
Schwefel		299	»
Schwefelsäure . . .		310	»
Leinöl		316	»
Quecksilber		350	»

210 **Der Leidenfrost'sche Tropfen.** Die meisten Flüssigkeiten zeigen, mit heißen Metallflächen in Berührung gebracht, die eigenthümliche Erscheinung, daß sie nicht ins Kochen kommen. Man kann den Versuch leicht anstellen, wenn man eine Metallschale (von Silber oder Platin) über einer Spirituslampe bis zum Rothglühen erhitzt und dann mittelst einer Pipette einige Tropfen Wasser in die glühende Schale laufen läßt. Die Flüssigkeit rundet sich ab wie Quecksilber in einem Glasgefäße, Fig. 542, nimmt eine rasche drehende Bewegung an, ohne ins Kochen zu kommen und ohne merklich an Volumen abzunehmen. Wenn die Flamme der Spirituslampe groß genug ist, um ein lebhaftes Glühen der Metallschale zu erhalten, so kann man nach und nach eine ziemlich beträchtliche Menge Wasser in die Schale gießen, ohne daß es ins Sieden kommt. Wenn man aber die Flamme unter der Schale auslöscht und diese etwas erkalten läßt, beginnt das Wasser plötzlich mit der größten Heftigkeit zu kochen, so daß das Wasser nach allen Richtungen hin fortgeschleudert wird. Diese Erscheinung wurde zuerst von Leidenfrost beobachtet, daher der Name des Leidenfrost'schen Tropfens.

Fig. 542.



Die Ursache dieses sonderbaren Phänomens ist wohl keine andere als daß das glühende Metall vom Wasser nicht benetzt wird, daß also die Berührung zwischen dem heißen Metall und der Flüssigkeit nicht innig genug ist, um einen merklichen Uebergang der Wärme vom Metall zum Wasser zu gestatten. Bei abnehmender Hitze stellt sich die Berührung wieder her, daher die heftige plötzliche Dampfbildung.

Auch unter anderen Umständen, bei beträchtlicheren Massen, ist diese Erscheinung beobachtet worden, z. B. im Papinianischen Topfe und in Kesseln von Dampfmaschinen; sie ist die Ursache gefährlicher Explosionen. Wenn näm-

lich die Oberfläche des Wassers in einem Dampfkessel so weit gesunken ist, daß ein Theil der Feuerfläche nicht mehr mit Wasser in Berührung ist, so kann das Metall an dieser Stelle glühend werden. Wenn nun von Neuem Wasser in den Kessel zufließt, so sind die Bedingungen zum Leidenfrost'schen Phänomen gegeben; einige Zeit lang bleibt das Wasser mit der glühenden Fläche in Berührung, ohne hier zu kochen; nachdem aber die Kesselwände sich etwas abgekühlt haben, beginnt auf einmal die Dampfbildung mit solcher Heftigkeit, daß die Dämpfe nicht einmal durch das geöffnete Sicherheitsventil schnell genug entweichen können; es erfolgt eine Explosion.

Eine Erscheinung, welche auch hierher gehört, ist von Perkins beobachtet worden. Bei der Rothglühhitze kann man nämlich mehrere kleine Oeffnungen in die Wände von Dampfkesseln machen, ohne daß Dampf entweicht, bei niedriger Temperatur aber strömt der Dampf mit Gewalt hervor.

Eine besondere Aufmerksamkeit hat Boutigny diesem Gegenstande zugewendet, welcher seine hierher gehörigen Versuche sowohl wie auch seine theoretischen Ansichten darüber in einem besonderen Werke (Etudes sur les corps à l'état sphéroïdal, 3. Aufl., Paris 1857) veröffentlicht hat.

Nach Boutigny läßt sich das Leidenfrost'sche Phänomen mit allen Flüssigkeiten, der früheren Meinung entgegen, sogar mit fetten Oelen, z. B. dem Ricinusöl, hervorbringen; jedoch muß die Temperatur der Schale um so höher sein, je höher die Temperatur liegt, bei welcher eine Verflüchtigung der Flüssigkeit stattfindet. Während der Versuch in einer erhitzten Porcellanschale mit Wasser nicht leicht gelingt, ist dies mit Aether ohne alle Schwierigkeit der Fall. Wie gering der Zufluß von Wärme aus dem heißen Metall in die in Form eines großen Tropfens auf ihn spielende Flüssigkeit ist, geht daraus hervor, daß selbst Flüssigkeiten, deren Siedepunkt unter 0° liegt, wie z. B. schweflige Säure, auf eine heiße Metallfläche geträufelt, auf derselben einen ruhig spielenden Tropfen bilden, welcher nicht siedet, sondern nur allmälig verdampft. Die Temperatur der flüssigen schwefligen Säure ist unter diesen Umständen natürlich sehr gering, weil sonst augenblickliches Sieden eintreten müßte; fügt man einige Tropfen Wasser hinzu, so werden dieselben augenblicklich in Eis verwandelt.

Erzeugt man in einem glühenden Platintiegel einen Leidenfrost'schen Tropfen von Aether, setzt man demselben dann nach und nach noch feste Kohlensäure zu, welche sich sogleich im Aether auflöst, so ist die Temperatur dieser Flüssigkeit so niedrig, daß wenn man ein kleines Metallschälchen mit Quecksilber hineintaucht, dasselbe in einigen Secunden fest wird.

Einige Physiker betrachten als Ursache der in diesem Paragraphen besprochenen Erscheinungen eine Dampfschicht, welche sich alsbald zwischen dem Metall und der Flüssigkeit bilden soll und welche sowohl die Berührung hindert als auch den Uebergang der Wärme erschwert; Andere dagegen sind der Ansicht, daß das heiße Metall eine abstoßende Wirkung auf die Flüssigkeit ausübe.

Boutigny scheint der Meinung zu sein, daß eine Flüssigkeit, während

sie das Leidenfrost'sche Phänomen zeigt, sich in einem von dem gewöhnlichen abweichenden Zustande befindet, den er als sphäroidalen Zustand bezeichnet.

211 **Verdunstung** nennt man die Bildung von Dampf an der freien Oberfläche der Flüssigkeit, während, wie wir gesehen haben, das Kochen darin besteht, daß sich auch im Inneren der flüssigen Masse Dampf bildet. Das Wasser verdampft an der Oberfläche der Flüsse, Seen und Meere; es verdampft an der Oberfläche des feuchten Bodens, an den Pflanzen. Offenbar hat der sich so bildende Wasserdampf keine Spannkraft, welche stark genug ist, um den Druck der atmosphärischen Luft zu überwinden. Die alltäglichsten Beobachtungen zeigen uns, daß sich bei jeder Temperatur Wasserdampf bildet, und daß er sich auch bei der schwächsten Tension doch in der Luft verbreitet. Man hatte früher angenommen, daß eine chemische Verwandtschaft zwischen den Luftmolekülen und denen des Wasserdampfes die Ursache dieser Erscheinung sei; wir haben aber gesehen, daß es nicht nöthig ist, chemische Kräfte zu Hülfe zu nehmen. Der Wasserdampf, so schwach seine Spannkraft auch sein mag, mischt sich mit der Luft, wie sich zwei Gase mischen. Die einzige Bedingung also, welche erfüllt sein muß, damit eine Flüssigkeit verdunsten kann, ist die, daß die umgebenden Luftschichten nicht mit Dampf gesättigt sind; da ferner bei der Mischung zweier Gase die Moleküle des einen ein mechanisches Hinderniß für die Verbreitung des anderen bilden, so kommt es, daß bei der Verdunstung die Luft ein Hinderniß für die schnelle Verbreitung des Dampfes ist. In einer vollkommen ruhigen Atmosphäre geht deshalb die Verdunstung nur langsam vor sich, während sie bei bewegter Luft weit rascher erfolgt, indem die Flüssigkeit stets mit neuen Luftschichten in Berührung kommt, die noch nicht mit Dampf gesättigt sind. Daher kommt es, daß das Wasser rasch verdunstet, wenn ein trockener Wind mit Lebhaftigkeit weht.

Die Schnelligkeit der Verdunstung hängt nicht allein von der Bewegung der Luft ab, sondern auch von der Tension des Dampfes, oder vielmehr von der Differenz zwischen dem Maximum der Spannkraft, welche dem Wasserdampfe bei der herrschenden Temperatur zukommt, und der Tension des Wasserdampfes, welcher schon in der Luft enthalten ist. Aus den Versuchen, welche Dalton über diesen Gegenstand anstellte, geht hervor, daß die Menge der Flüssigkeit, welche in einer gegebenen Zeit verdunsten kann, stets dieser Differenz der Spannkräfte proportional ist. Bei gleicher Oberfläche wird also in einer vollkommen trockenen Luft bei einer Temperatur von 11° gerade eben so viel Wasser verdunsten, als während derselben Zeit bei 30° in einer Luft, welche schon Wasserdampf von 20 Millimeter Spannkraft enthält.

Es ist wohl kaum nöthig zu bemerken, daß unter übrigens gleichen Umständen die Wassermenge, welche in einer gegebenen Zeit verdunstet, der Größe der Oberfläche proportional ist, an welcher die Verdunstung stattfindet.

Alle übrigen Flüssigkeiten verdunsten an der freien Luft nach denselben Principien wie das Wasser, und zwar geht die Verdunstung stets um so rascher

vor sich, je niedriger der Siedepunkt der verdampfenden Flüssigkeit ist. So verdunstet Weingeist rascher wie Wasser, und Aether rascher wie Weingeist.

Wir werden in der Meteorologie alle die Phänomene der Natur kennen lernen, welche von der Bildung des Wasserdampfes, seiner Suspension in der Atmosphäre und seiner Condensation in Gestalt von Regen, Thau, Reif u. s. w. abhängen.

Latente Wärme der Dämpfe. Wenn eine Flüssigkeit verdampft, 212
so muß sie Wärme absorbiren; diese beim Verdampfen absorbirte Wärme ist für das Gefühl und das Thermometer eben so verschwunden, wie die Wärme, welche beim Schmelzen gebunden wird.

Daß bei der Dampfbildung Wärme gebunden wird, geht schon daraus hervor, daß die Temperatur einer Flüssigkeit während des Kochens unverändert bleibt. Die Temperatur des siedenden Wassers bleibt 100°, wie sehr wir auch das Feuer verstärken mögen; alle Wärme, welche man dem siedenden Wasser zuführt, dient nur dazu, das Wasser von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln.

Das Binden von Wärme beim Verdampfen von Flüssigkeiten läßt sich leicht dem Gefühle merklich machen; man gieße nur einige Tropfen einer leicht verdampfenden Flüssigkeit, etwa Weingeist oder Schwefeläther, auf die Hand, so wird man ein Gefühl von Kälte haben, weil der Hand die zum Verdampfen der Flüssigkeit nöthige Wärme entzogen wird. Wenn man die Kugel eines Thermometers mit Baumwolle umwickelt, diese mit Schwefeläther beträpfelt und durch rasches Hin- und Herschwenken die Verdunstung beschleunigt, so sinkt das Thermometer bis unter den Gefrierpunkt.

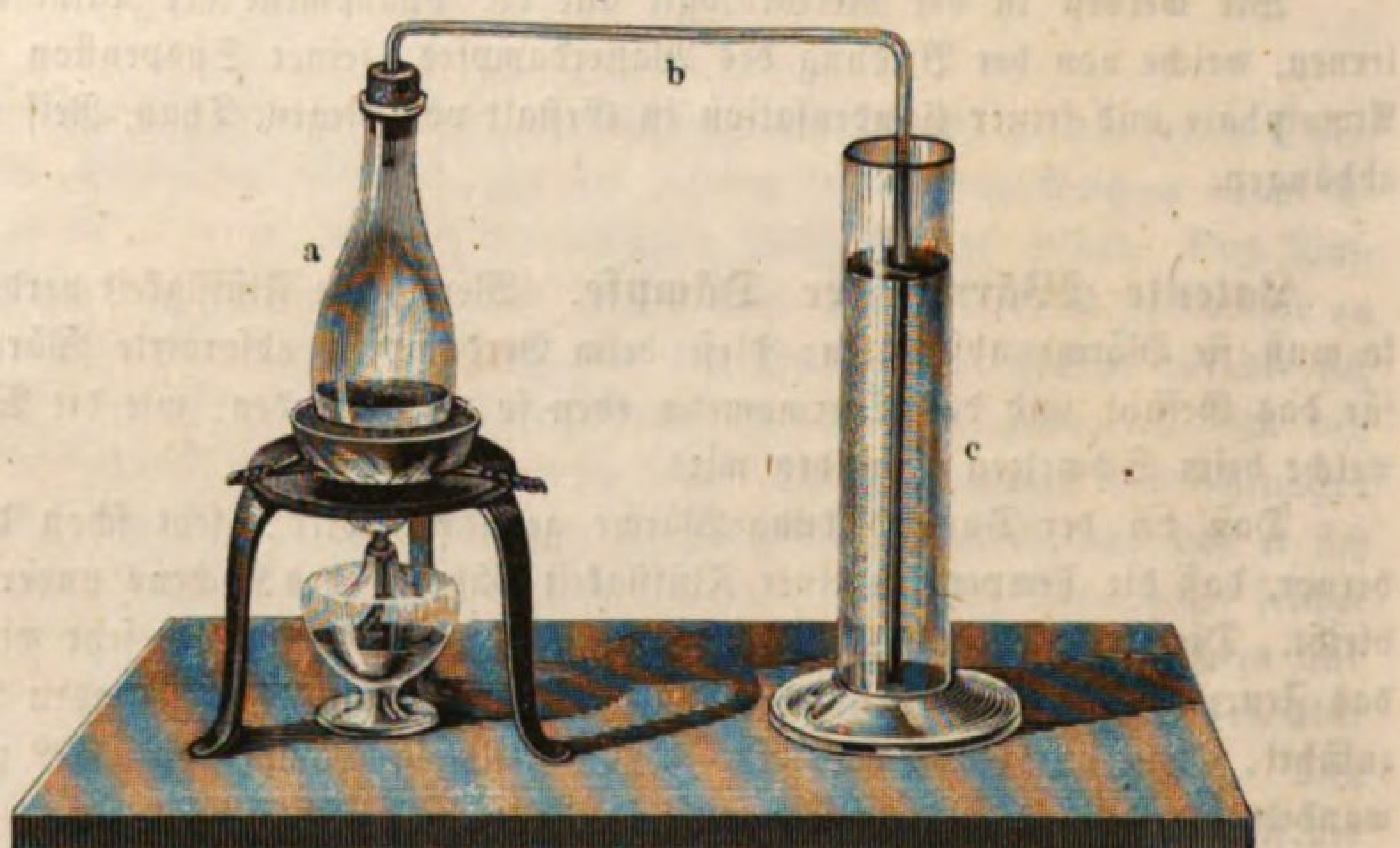
Wenn wir an heißen Tagen in Zugluft treten, so fühlen wir alsbald eine erfrischende Kühle. Es ist dies keineswegs die Folge davon, daß uns der Zug kalte Luft zuführt; die an uns vorüberstreichende Luft mag, wie wir uns durch das Thermometer überzeugen können, sehr warm sein und der Zug bringt uns dennoch diese Abkühlung, weil er eine lebhafte Verdunstung auf der Haut erhält. Wir haben das Gefühl einer drückenden Schwüle selbst bei mäßiger Temperatur, wenn wir uns in einer mit Feuchtigkeit gesättigten Atmosphäre befinden, in welcher keine Verdunstung mehr stattfinden kann.

Nachdem wir nun die Bindung der Wärme bei der Dampfbildung der Art nach kennen gelernt haben, kommt es darauf an, die latente Wärme der Dämpfe auch der Größe nach zu bestimmen, d. h. zu ermitteln, wieviel Wärme nöthig ist, um eine bestimmte Menge irgend einer Flüssigkeit in Dampf zu verwandeln.

In Fig. 543 (a. f. S.) stelle *a* einen Glaskolben vor, in welchem Wasser mit Hülfe einer Weingeistlampe kochend erhalten wird; wenn nun die sich bildenden Dämpfe durch ein Glasrohr *b* in ein cylindrisches Gefäß *c* geleitet werden, welches mit kaltem Wasser gefüllt ist, so werden die Dämpfe hier verdichtet; die Wärme also, welche bei der Bildung der Dämpfe in *a* gebunden wurde, muß in *c* wieder frei werden, wodurch das kalte Wasser in *c* allmälig erwärmt

wird. Aus der hier hervorgebrachten Temperaturerhöhung kann man aber auf die Größe der latenten Wärme der Dämpfe schließen.

Fig. 543.



Nehmen wir an, das Kochen im Gefäße *a* habe schon einige Zeit gedauert, so daß alle Luft aus dem Gefäße ausgetrieben ist, und nun erst tauche man das Ende des gekrümmten Rohrs in das kalte Wasser des Cylinders *c*, so werden alle Dampfblasen alsbald verdichtet, so wie sie mit dem kalten Wasser in Berührung kommen. In dem Maaße aber, als das Wasser in *c* wärmer wird, werden die Dampfblasen größer, bis endlich, wenn auch das Wasser in *c* zur Siedehitze erwärmt ist, die Dampfblasen unverdichtet durch die ganze Flüssigkeitsmasse aufsteigen, also in *c* selbst ein förmliches Kochen stattfindet. In dem Augenblicke, in welchem das Kochen in *c* beginnt, wird der Versuch unterbrochen, indem man das Kochgefäß *a* wegnimmt.

Gesetzt nun, in *c* hätten sich zu Anfang des Versuchs 11 Cubikzoll Wasser von 0° befunden, so wird der Cylinder jetzt, nach Beendigung des Versuchs, 13 Cubikzoll Wasser von 100° enthalten; es sind also 2 Cubikzoll Wasser hinzugekommen. Diese zwei Cubikzoll Wasser sind im Gefäße *a* verdampft und im Cylinder *c* verdichtet worden, die latente Wärme, welche in *a* gebunden wurde, ist in *c* wieder frei geworden und hat hier die 11 Cubikzoll Wasser von 0° auf 100° erwärmt; dieselbe Wärmemenge also, welche bei der Verdampfung von 2 Cubikzoll Wasser absorbirt wird, reicht hin, um die Temperatur von 11 Cubikzoll Wasser von 0° bis 100° zu erhöhen. Nun aber verhalten sich 2 zu 11 wie 1 zu 5,5; wir können das Resultat unseres Versuchs also auch folgendermaßen ausdrücken: Die Wärmemenge, welche nöthig ist, um eine bestimmte Quantität Wasser von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln, reicht hin, um die Temperatur einer $5\frac{1}{2}$mal so großen Wassermasse von 0° auf 100° zu erhöhen.

Wir haben oben angeführt, daß man als Einheit der Wärmemengen diejenige Wärmequantität annimmt, welche erforderlich ist, um die Temperatur

von 1 Gramm Wasser um 1° C. zu erhöhen; um die Temperatur von $5\frac{1}{2}$ Gramm Wasser um 1° zu erhöhen, sind also 5,5, und um die Temperatur dieser Wassermasse um 100° zu erhöhen, sind 550 solcher Wärmeeinheiten nöthig.

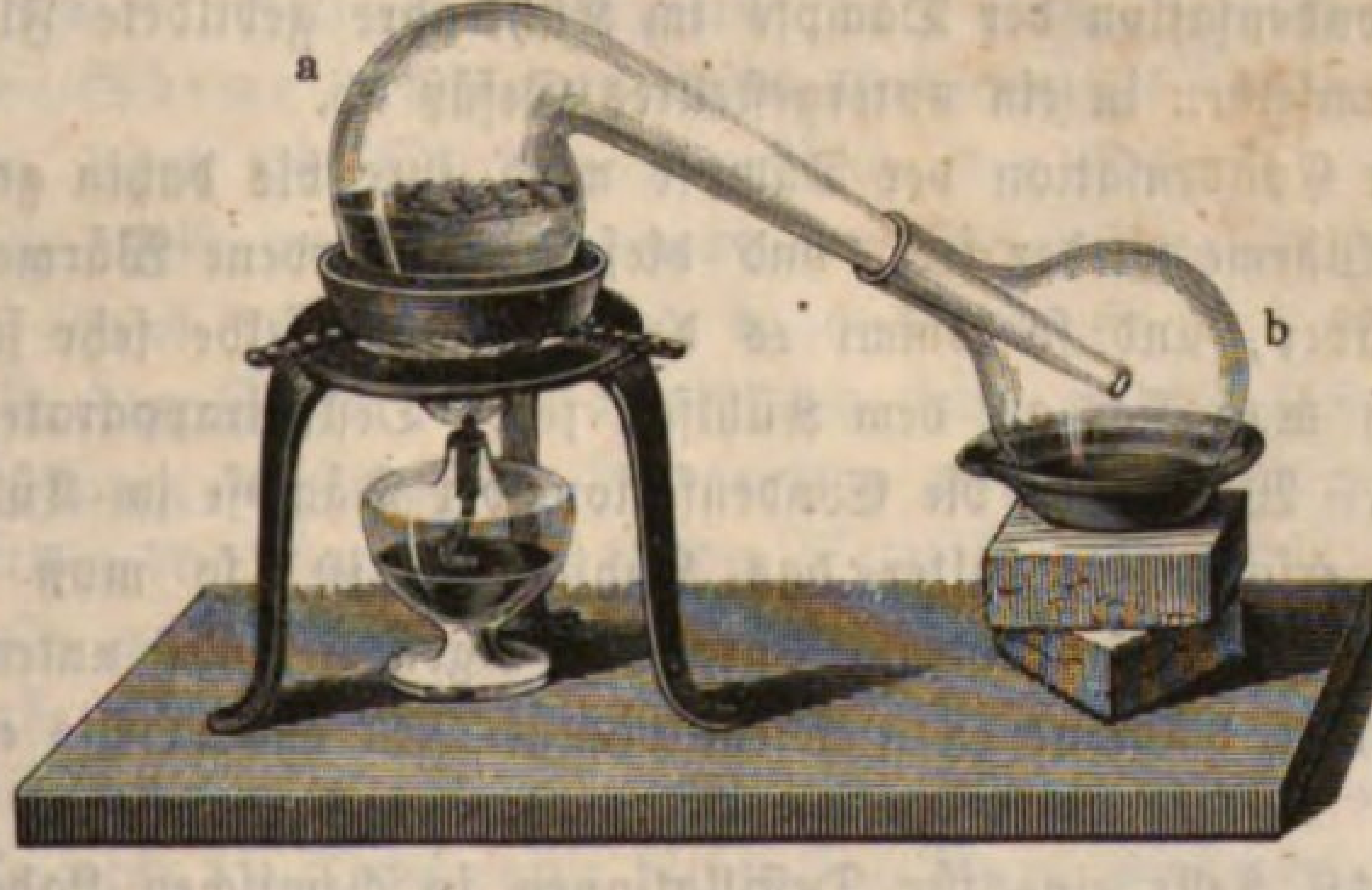
Die latente Wärme von 1 Gramm Wasserdampf ist demnach gleich 550.

Der eben angeführte Versuch ist nicht geeignet, die latente Wärme des Wasserdampfes genau zu bestimmen, er wird immer mehr oder weniger unrichtige Resultate geben; er ist aber sehr geeignet, den Zusammenhang der Sache recht anschaulich zu machen. Was die Resultate dieses Versuchs besonders ungenau macht, ist der Umstand, daß die hohe Temperatur, zu welcher man das Wasser im Cylinder *c* erheben muß, einen bedeutenden Wärmeverlust an die Umgebung zur Folge hat; dann aber wird auch eine nicht unbedeutende Quantität Wasserdampf schon im Rohre verdichtet, giebt hier schon seine frei werdende Wärme an die Luft ab und kommt als Wasser im Cylinder *c* an; man begreift also leicht, daß, bis das Wasser in *c* ins Kochen kommt, mehr Wasser aus dem Gefäße *a* herübergekommen sein wird, als es der Fall sein würde, wenn diese beiden Fehlerquellen nicht vorhanden wären; dieser Versuch wird also in der Regel einen zu kleinen Werth für die latente Wärme des Wasserdampfes geben. Wir werden sogleich genauere Methoden zur Bestimmung dieser Größe kennen lernen.

Bei der **Destillation** werden die in irgend einem Gefäße durch Erwärmung gebildeten Dämpfe an einen Ort geleitet, welcher durch kaltes Wasser beständig abgekühlt wird, wodurch dann die Dämpfe wieder condensirt, d. h. in tropfbare Flüssigkeit verwandelt werden.

Eine der einfachsten Vorrichtungen zur Destillation ist die in Fig. 544

Fig. 544.

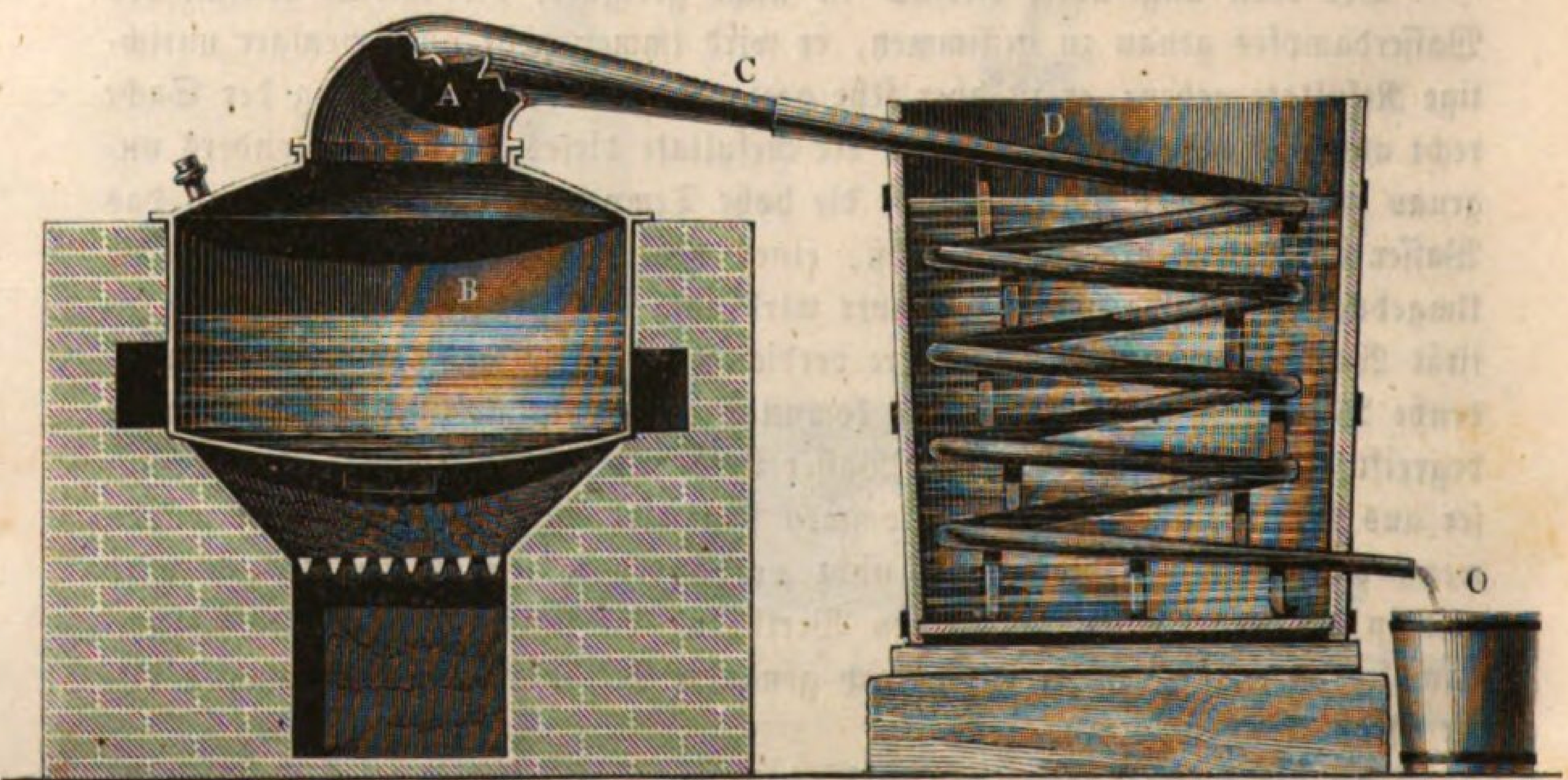


abgebildete. Die durch irgend welche fremde, weniger flüchtige Substanzen verunreinigte Flüssigkeit, welche durch Destillation gereinigt werden soll, wird in der Retorte *a* erwärmt, deren Hals in der Vorlage *b* steckt. Diese Vorlage wird dadurch kühl gehalten, daß sie in einer Schale mit kaltem Wasser liegt. Der besseren Abkühlung wegen wird auch Löschpapier oder ein Leinwandlappen auf die Vorlage gelegt und auf diesen fortwährend kaltes Wasser getröpfelt.

Die in der Retorte *a* gebildeten Dämpfe werden theils schon in dem Halse der Retorte, theils in der Vorlage selbst verdichtet und sammeln sich in der letzteren.

Fig. 545 stellt einen Apparat dar, wie er zu Destillationen in größerem

Fig. 545.



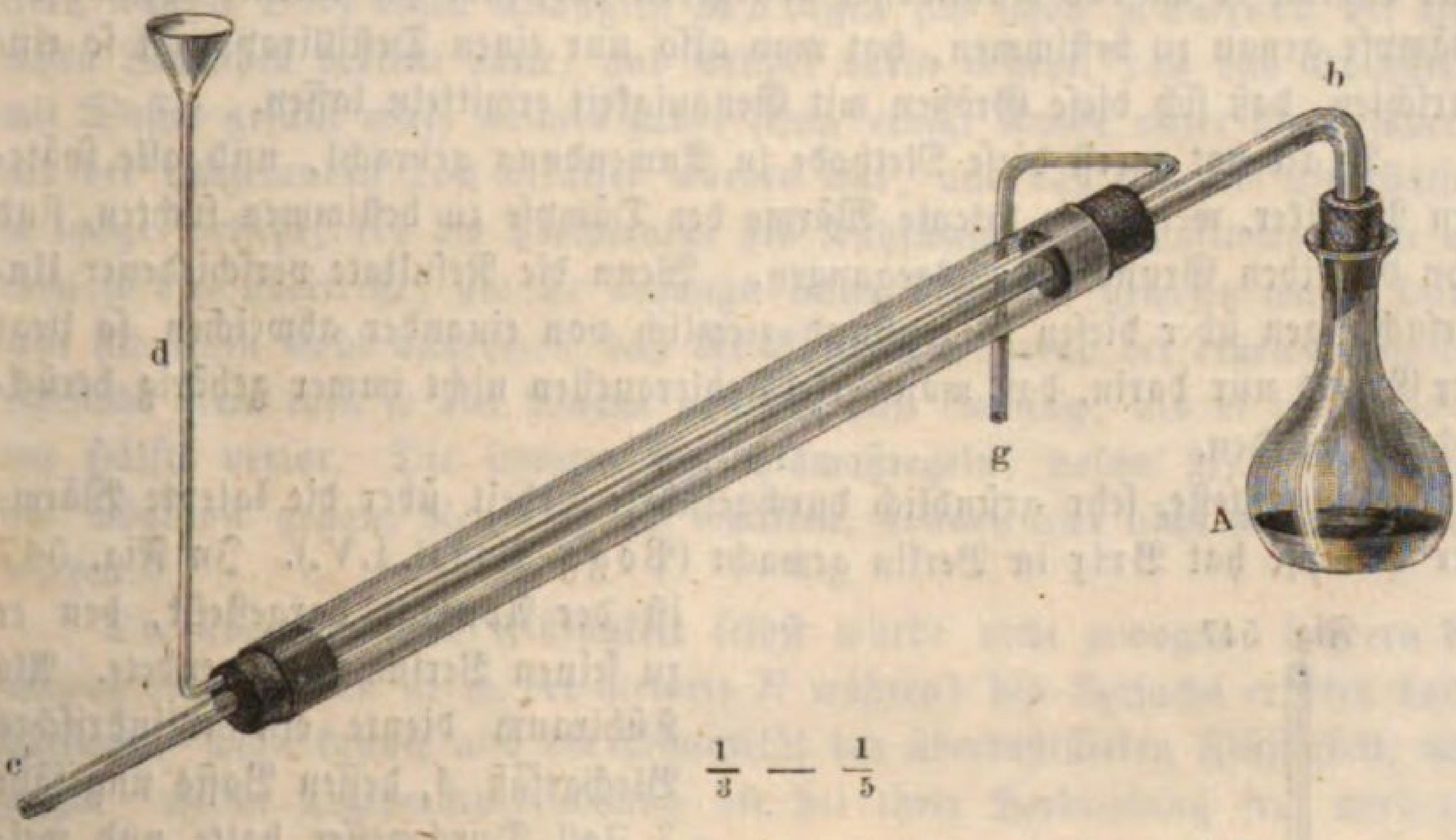
Maaßstabe gebraucht wird. Das Gemisch, aus welchem eine Flüssigkeit durch Destillation gewonnen werden soll, befindet sich in der meist aus Kupferblech verfertigten Blase *B*. Auf dieser sitzt der Helm *A*, welcher mit einem in das Kühlrohr *D* mündenden Rohre *C* versehen ist. Das schraubenförmig gewundene Kühlrohr befindet sich in einem mit kaltem Wasser gefüllten Bottig. Die durch Condensation der Dämpfe im Kühlrohre gebildete Flüssigkeit fließt bei *O* aus demselben in ein untergestelltes Gefäß ab.

Bei der Condensation der Dämpfe wird ihre bis dahin gebunden gewesene latente Wärme wieder frei, und diese freigewordene Wärme geht in das Kühlwasser über, und so kommt es denn, daß dasselbe sehr schnell erwärmt wird, wovon man sich an dem Kühlfaß jedes Destillirapparates leicht überzeugen kann. Weil aber die Condensation der Dämpfe im Kühlrohre um so vollständiger erfolgt, je kälter das Kühlwasser ist, so muß dafür gesorgt werden, daß in dem Kühlfasse durch ein eigenes Rohr unten stets kaltes Wasser einströmt, während in gleichem Maaße oben das bereits erwärmte Wasser abfließt.

Fig. 546 stellt eine für Destillationen in chemischen Laboratorien sehr zweckmäßige Form eines kleinen Destillirapparates dar. Die in *A* entwickelten Dämpfe entweichen durch das Glasrohr *bc*, dessen mittlerer Theil von einem weiteren oben und unten durch Korke geschlossenen Glasrohre umgeben ist, welches die Stelle des Kühlgefäßes vertritt. In dieses Kühlrohr läßt man das kalte Wasser durch das Rohr *d* eintreten, wogegen das mehr oder weniger erwärmte Wasser bei *g* wieder aus dem Kühlrohre austritt.

Nach diesen Erörterungen finden nun auch einige der oben erwähnten Erscheinungen an siedenden Salzlösungen ihre Erklärung. Daß die Wasserdämpfe, welche unter gewöhnlichem Luftdruck sich aus einer erst weit über 100° sie-

Fig. 546.



$\frac{1}{3} - \frac{1}{5}$

denden Salzlösung entwickeln, doch nicht über 100° warm sind, rührt offenbar daher, daß der Temperaturüberschuß der gerade in Dampf sich verwandelnden Wasserpartikelchen beim Uebergang in den Gaszustand gebunden wird, also für das Thermometer verschwindet. — Durch den Salzgehalt ist das Sieden verzögert, es beginnt erst bei einer höheren Temperatur, wobei aber die Temperatur des Dampfes in Folge der **Wärmebindung** sogleich wieder auf die normale Siedetemperatur **zurückfällt**, in gleicher Weise wie die Temperatur einer unter Null erkalteten Wassermasse beim Erstarren durch die dabei **frei werdende Wärme** auf den normalen Gefrierpunkt **steigt**.

Schon die durch die Salzlösung aufsteigenden Dampblasen haben die Temperatur von 100°, wenn dieselbe nicht etwa durch längeren Aufenthalt in der Flüssigkeit etwas gestiegen ist, und daher kommt es, daß wenn man ein Thermometer in den Strom der Dampfblasen hält, welcher aus einer lebhaft siedenden Salzlösung aufsteigt, die Temperatur weit niedriger gefunden wird, als man sie neben dem Dampfstrom in der Salzlösung findet.

Wiederholt man den in Fig. 543, Seite 606 dargestellten Versuch in der Weise, daß man in den Cylinder *c* statt reinen Wassers eine Salzlösung von hohem Siedepunkte, etwa eine ziemlich concentrirte Lösung von Chlorcalcium bringt, so wird die Temperatur dieser Salzlösung weit über 100° steigen, obgleich die von *a* herüberkommenden Dämpfe nicht heißer als 100° sind, weil, selbst wenn schon die Temperatur von 100° in *c* erreicht ist, die Anziehung des Salzes zum Wasser noch eine fernere Condensation der Wasserdämpfe bewirkt, deren frei werdende Wärme nothwendig auch eine weitere Temperaturerhöhung zur Folge haben muß.

213 Genauere Bestimmung der latenten Wärme der Dämpfe.

Man könnte mit jedem Destillirapparate den Werth der latenten Wärme der Dämpfe bestimmen, wenn es möglich wäre, jederzeit genau zu ermitteln, wie viel Dampf in einer gegebenen Zeit verdichtet worden ist und wie viel Wärme er an das Kühlwasser abgegeben hat; um die latente Wärme der Dämpfe genau zu bestimmen, hat man also nur einen Destillirapparat so einzurichten, daß sich diese Größen mit Genauigkeit ermitteln lassen.

Black hat zuerst diese Methode in Anwendung gebracht, und alle späteren Physiker, welche die latente Wärme der Dämpfe zu bestimmen suchten, sind von derselben Grundidee ausgegangen. Wenn die Resultate verschiedener Untersuchungen über diesen Gegenstand ziemlich von einander abweichen, so liegt der Grund nur darin, daß mancherlei Fehlerquellen nicht immer gehörig berücksichtigt wurden.

Die neueste, sehr gründlich durchgeführte Arbeit über die latente Wärme der Dämpfe hat Brix in Berlin gemacht (Pogg. Annal. LV.). In Fig. 547 ist der Apparat dargestellt, den er zu seinen Versuchen anwendete. Als Kühlraum diente ein cylindrisches Blechgefäß *A*, dessen Basis ungefähr 3 Zoll Durchmesser hatte und welches auch ungefähr 3 Zoll hoch war; die in einer kleinen Retorte *R* entwickelten Dämpfe wurden, nicht wie gewöhnlich in einem Schlangenrohre, sondern in einem cylindrischen hohlen Gefäße *B*, von ringförmiger Basis, condensirt, dessen innerer Raum durch eine Röhre *L* mit der äußeren Luft in Verbindung war, so daß die durch die Wärme verdrängte Luft hier austreten konnte. Das Kühlgefäß wurde mit einer gewogenen Quantität Wasser gefüllt, dessen Temperatur man stets an einem in der Mitte des ganzen Apparates angebrachten Thermometer ablesen konnte. In dem Raume zwischen der Vorlage *B* und der Wand des äußeren Gefäßes *A* befand sich eine horizontal liegende Metallscheibe *C*, welche vermittelst eines verticalen Drahtes parallel auf und ab bewegt werden konnte; dadurch wurde das Kühlwasser in steter Bewegung erhalten und eine möglichst gleichförmige Vertheilung der Wärme in demselben bewirkt.

Fig. 547.



Bei dem Versuche ruhte der Apparat auf drei hölzernen Füßchen, welche ihn nur in wenigen Punkten berührten; gegen die Wärme, welche vom Beob-

achter und der kleinen Weingeistlampe, durch welche die Flüssigkeit in der Retorte *R* ins Kochen gebracht wurde, ausstrahlte, war er durch Schirme von Holz und Pappe geschützt.

Um zu verhüten, daß das Kühlgefäß Wärme an die umgebende Luft verliert, wandte Brix einen Kunstgriff an, dessen sich schon Rumford bei ähnlichen Versuchen bedient hatte, und welcher darin besteht, daß das Kühlgefäß mit Wasser gefüllt wird, welches zuvor schon einige Grade unter die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet worden war, und daß man die Destillation so lange fortsetzt, bis die Temperatur des Kühlwassers die Lufttemperatur um eben so viel übertrifft, als sie anfangs unter derselben gewesen war. Dabei läßt sich dann wohl annehmen, daß der Apparat während der ersten Hälfte des Versuchs etwa eben so viel Wärme von der Luft empfing, als er in der zweiten Hälfte verlor. Die übrigen Vorsichtsmaßregeln, welche Brix anwandte, um möglichst genaue Resultate zu erhalten, können hier nicht weiter erörtert werden.

Die übergegangene Flüssigkeit selbst wurde nicht gewogen, sondern der Gewichtsverlust, den sie in der Retorte *R* während des Versuchs erlitten hatte, bestimmt. Man kannte also die Quantität der überdestillirten Flüssigkeit, man wußte, welche Temperaturerhöhung die bei ihrer Verdichtung frei werdende Wärme in einer bekannten Wassermasse hervorgebracht hatte, und konnte daraus die latente Wärme der Dämpfe berechnen.

Folgendes sind die Werthe, welche Brix nach dieser Methode für die latente Wärme des Dampfes mehrerer Flüssigkeiten fand:

Wasser	540
Alkohol	214
Schwefeläther	90
Terpentinöl	74
Citronenöl	80.

Diese Werthe sind immer das Mittel aus mehreren wenig von einander abweichenden Resultaten.

Despretz, welcher ebenfalls recht genaue Versuche über diesen Gegenstand gemacht hatte, giebt folgende Werthe an:

Wasser	531
Alkohol	208
Schwefeläther	97
Terpentinöl	77.

Rumford fand für die latente Wärme des Wasserdampfes den Werth 567, Dulong 543.

Bezeichnen wir den Werth für die latente Wärme des Wasserdampfes mit 1, so ergeben sich folgende Werthe für die latente Wärme der übrigen Dämpfe:

	Nach Brix.	Nach Despretz.
Wasser	1	1
Alkohol	$\frac{1}{2,52}$	$\frac{1}{2,55}$
Schwefeläther	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5,47}$
Terpentinöl	$\frac{1}{7,3}$	$\frac{1}{7.}$

Nimmt man die Dichtigkeit des Wasserdampfes zur Einheit, so ergeben sich für die Dichtigkeit der Dämpfe der eben besprochenen Flüssigkeiten aus der Tabelle auf Seite 562 folgende Werthe:

Wasser	1
Alkohol	2,58
Schwefeläther . . .	4,15
Terpentinöl	8,04.

Die Betrachtung dieser Zahlen zeigt, daß sich die latente Wärme der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten sehr nahe umgekehrt verhält, wie die Dichtigkeit dieser Dämpfe. So ist der Alkoholdampf 2,58mal dichter als Wasserdampf, die latente Wärme des Alkoholdampfes ist aber 2,52- bis 2,55mal kleiner als die des Wasserdampfes. Beim Terpentinöl ist die Uebereinstimmung geringer; wenn wir jedoch für die Dichtigkeit des Terpentinöldampfes, nach Dumas, den Werth 4,76 nehmen, so ist er 7,6mal dichter als der Wasserdampf, was schon weit besser paßt. Für den Aether ist die Differenz bedeutend. Es muß vor der Hand dahingestellt bleiben, ob der Mangel an Uebereinstimmung vielleicht den Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden muß, oder ob das angeführte Gesetz gar nicht stattfindet.

Wenn dies Gesetz richtig wäre, so würden gleiche Volumina gesättigten Dampfes bei der Temperatur des Siedepunktes für alle Flüssigkeiten dieselbe Menge latenter Wärme enthalten.

Die bisher besprochenen Werthe für die latente Wärme der Dämpfe gelten natürlich nur für die bei der Temperatur des Siedepunktes unter einem Luftdrucke von 760^{mm} gebildeten Dämpfe.

214 **Latente Wärme des Wasserdampfes bei verschiedenem Druck.** Der oben besprochene Werth für die latente Wärme des Wasserdampfes gilt nur bei einem Druck von 760^{mm}.

Watt nahm an, daß die Wärmemenge, welche man einem Kilogramm flüssigen Wassers von 0° zuführen muß, um es in Dampf zu verwandeln, stets dieselbe sei, welches auch die Spannkraft des gesättigten Dampfes sein mag, daß also stets dieselbe Summe erhalten werden müsse, wenn man zur latenten Wärme des gesättigten Dampfes seine Temperatur addirt. Demnach wäre

für die Temperatur	die latente Wärme des gesättigten Dampfes
0° C.	640
50	590
100	540
200	440.

Dieses Gesetz darf indeß nur als eine Hypothese des berühmten Mechanikers betrachtet werden, da Watt es nicht auf directe Versuche gründete. Er hatte nur einen einzigen Versuch unter geringeren Druck als dem einer Atmosphäre angestellt, dessen Mangelhaftigkeit er selbst zugiebt.

Southern stellte über den fraglichen Gegenstand Versuche an, nach welchen die latente Wärme des gesättigten Wasserdampfes für alle Spannkräfte dieselbe war.

Die Beobachtungen, welche Pambour an Locomotiven anstellte, ließen sich zwar mit dem Wattischen, aber nicht mit dem Southern'schen Gesetze in Uebereinstimmung bringen.

Endlich hat Regnault, welcher sich schon so viele Verdienste um die Wärmelehre erworben hat, auch über diesen Gegenstand gründliche Untersuchungen angestellt, welche zeigten, daß weder das Wattische, noch das Southern'sche Gesetz richtig sind, daß sich aber letzteres weit mehr von der Wahrheit entfernt als ersteres.

Regnault's zahlreiche Versuche über die latente Wärme des gesättigten Wasserdampfes gehen von 5° bis zu 195° C. Die Resultate derselben lassen sich sehr gut durch die Formel

$$\lambda = 606{,}5 + 0{,}305\ t$$

ausdrücken, wenn λ die Gesammtwärme des gesättigten Wasserdampfes und t die nach dem hunderttheiligen Thermometer gemessene Temperatur bezeichnet. Nach dieser Gleichung ist die folgende Tabelle berechnet.

Temperatur	Gesammtwärme
des gesättigten Wasserdampfes.	
0°	606,5
20	612,6
40	618,7
60	624,8
80	630,9
100	637,0
120	643,1
140	649,2
160	655,3
180	661,4
200	667,5
220	673,6

(Pogg. Ann. Bd. LXXVIII.)

215 **Erzeugung von Kälte durch Verdampfung.** Wenn eine Flüssigkeit an freier Luft kocht, so behält sie eine constante Temperatur, weil sie von dem Feuer oder einer anderen Wärmequelle stets so viel Wärme erhält, als durch die Dampfbildung absorbirt wird. Wenn das Kochen aber unter dem Recipienten der Luftpumpe vor sich geht, so sinkt die Temperatur fortwährend, weil alsdann der Dampf die zu seiner Bildung nöthige latente Wärme aus der Flüssigkeit selbst und aus den umgebenden Körpern nehmen muß. Durch die bei rascher Verdampfung stattfindende Wärmebindung erklären sich folgende Versuche.

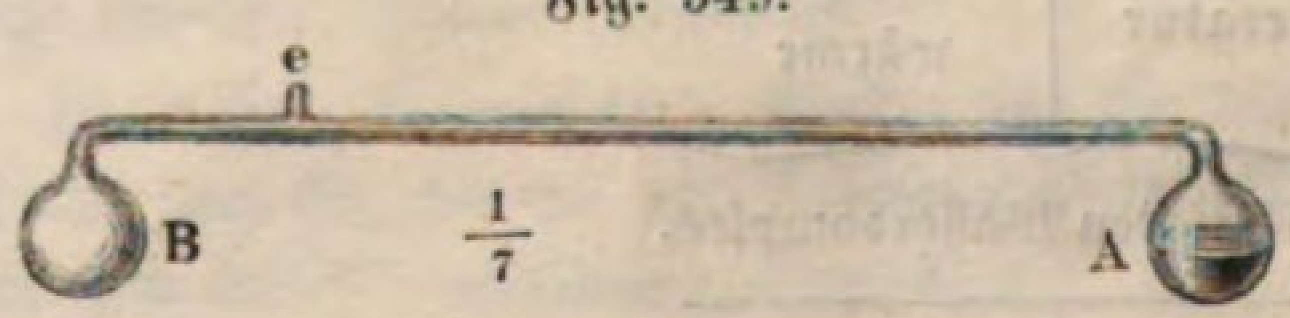
Man setze unter den Recipienten der Luftpumpe ein breites Glasgefäß, welches mit Schwefelsäure (SO_3, HO) gefüllt ist. Einige Zoll darüber ist ein ganz dünnes flaches Metallschälchen angebracht, Fig. 548, welches einige Gramm Wasser enthält. Gewöhnlich ist dieses Schälchen an drei Fäden aufgehängt, oder es ruht auf drei feinen Metallfüßen, welche auf dem Rande des unteren Glasgefäßes aufstehen. Nach einigen Kolbenzügen kommt das Wasser ins Kochen; fährt man fort auszupumpen, so hört das Kochen auf, und wenn die Leere so vollständig wie möglich hergestellt ist, erscheinen nach einigen Minuten Eisnadeln im Schälchen, und bald ist alles Wasser in eine feste Masse verwandelt. Dieser merkwürdige Versuch rührt von Leslie her. Die Schwefelsäure absorbirt den Wasserdampf, sobald er sich bildet, und unterhält dadurch eine rasche Verdunstung. Alle Körper, welche den Wasserdampf stark absorbiren, bringen dieselbe Wirkung hervor. Das Metallschälchen muß sehr dünn sein, weil es auch an der Erkaltung Theil nehmen muß; es muß von der Umgebung durch schlechte Wärmeleiter isolirt sein, damit dem Wasser nicht von außen Wärme zugeführt wird.

Fig. 548.



In Wollaston's Kryophor gefriert das Wasser ebenfalls durch seine eigene Verdampfung. Zwei Glaskugeln, Fig. 549, sind durch eine Röhre verbunden. In jede Kugel wird etwas Wasser gebracht und durch das Kochen desselben alle Luft aus dem Apparate ausgetrieben. Ist dies geschehen, so wird die Oeffnung bei *e* mittelst eines Löthrohres zugeschmolzen, und so der Apparat luftdicht verschlossen. Wenn man nun alles Wasser in der einen Kugel *A* zusammenlaufen läßt und dann die andere Kugel *B* in eine Kältemischung taucht, so wird durch die in *B* fortwährend erfolgende Verdichtung der Wasserdämpfe in der anderen Kugel eine so rasche Verdunstung hervorgerufen, daß das Wasser gefriert.

Fig. 549.



Auch durch die rasche Verdunstung von Schwefeläther kann man Wasser leicht zum Gefrieren bringen. Man umwickelt zu diesem Zwecke eine mit Wasser gefüllte, etwa 1 Linie weite Glasröhre mit Baumwolle, die man mit Schwefeläther beträufelt. Die so vorgerichtete Röhre bringt man in einem beliebigen

Glasgefäße unter die Glocke der Luftpumpe. Beim Evacuiren verdunstet der Aether so rasch, daß das Wasser gefriert.

Das Gefrieren des Wassers durch rasch verdampfenden Schwefelkohlenstoff läßt sich auch ohne Luftpumpe durch das folgende, von **Böttger** angegebene Verfahren erreichen. Man bringe auf ein Brettchen von Tannenholz einige Tropfen Wasser, setze darauf ein sehr dünnwandiges Schälchen von Kupferblech, wie Fig. 550 zeigt, gieße eine Partie Schwefelkohlenstoff hinein und bringe diesen dadurch rasch zum Verdampfen, daß man mit Hülfe eines gewöhnlichen Blasbalges darauf bläst. Nachdem dies eine Zeit lang fortgesetzt worden ist, gefriert das Wasser unter dem Schälchen, so daß nun das Schälchen mit dem Brett fest zusammenhängt.

Fig. 550.

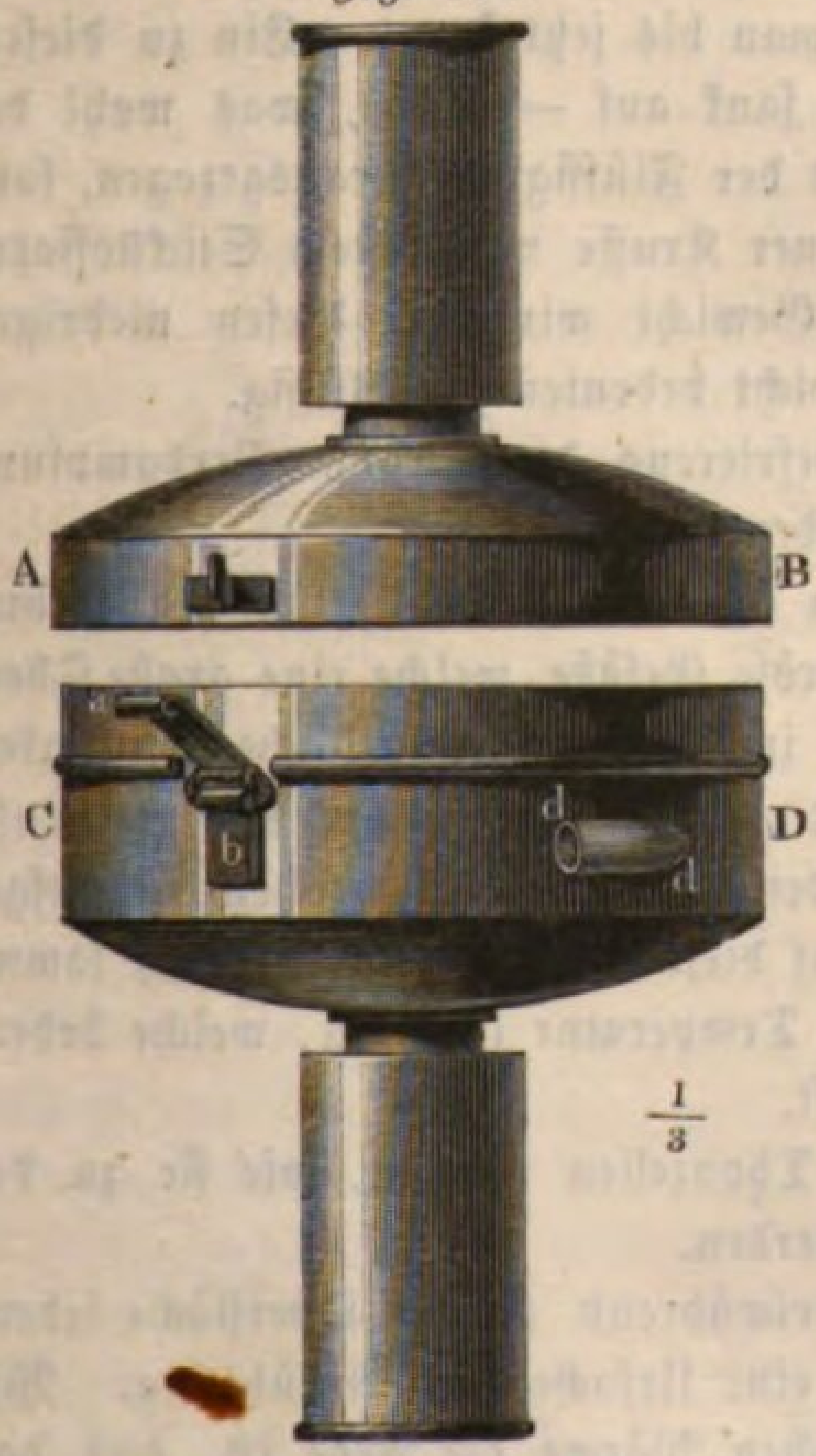


$\frac{1}{2}$

Eine Flüssigkeit verdampft um so rascher, sie erzeugt also bei ihrer Verdampfung eine um so stärkere Kälte, je tiefer ihr Siedepunkt liegt; deshalb wird durch Verdampfen von Schwefeläther eine stärkere Kälte erzeugt als durch Wasser, durch schweflige Säure mehr als durch Aether, durch flüssige Kohlensäure mehr als durch schweflige Säure.

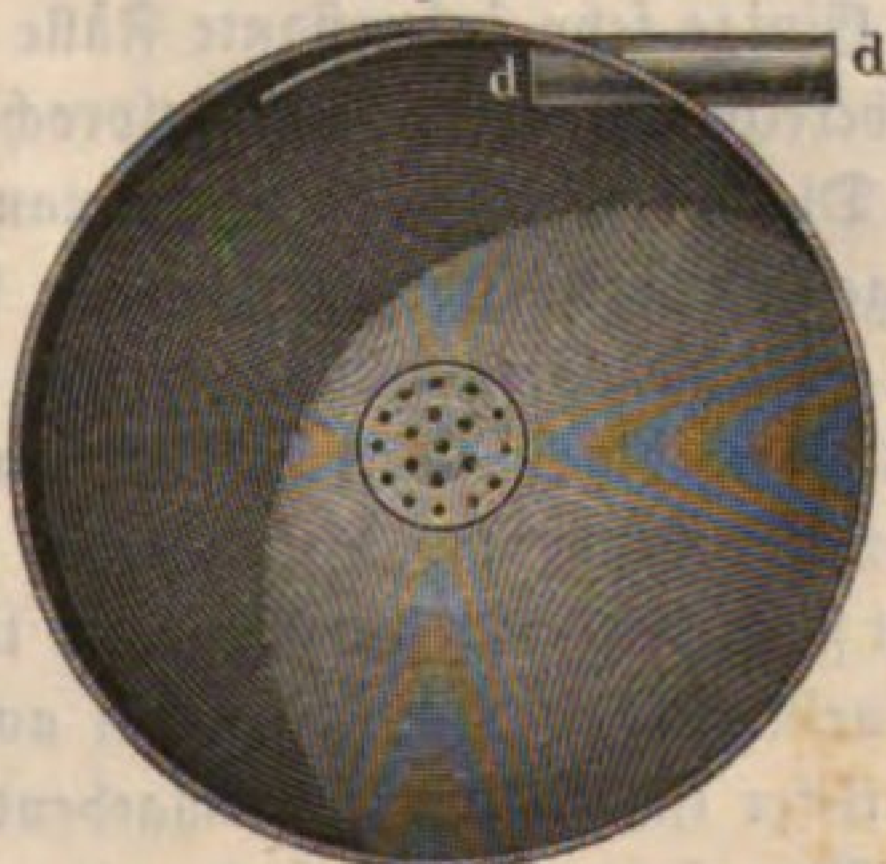
Wenn man den mit flüssiger Kohlensäure gefüllten Recipienten Fig. 514 auf Seite 565 in einer Kältemischung abkühlt, ihn dann umkehrt, und den Hahn, welcher nun unten ist, öffnet, so dringt ein Strahl flüssiger Kohlensäure hervor, welche ganz milchig erscheint, weil durch die rasche Verdunstung soviel Wärme gebunden wird, daß ein Theil der Kohlensäure selbst in den festen Zustand übergeht es bilden sich schneeähnliche Flocken von Kohlensäure. Um diese feste Kohlensäure zu sammeln, dient der Behälter Fig. 551. Zwei kurze Cylinder von Messingblech, *AB* und *CD*, welche auf der einen Seite mit einem gewölbten Boden

Fig. 551.



$\frac{1}{3}$

Fig. 552.



geschlossen sind, werden zusammengesteckt, so daß sie einen geschlossenen Raum bilden. Sind die beiden Hülsen zusammengesteckt, so können sie durch zwei Schließen, von denen in unserer Figur nur die vordere *a b* sichtbar ist, fest zusammengehalten werden. In Fig. 552 (a. vor. S.) ist der untere Theil dieser Vorrichtung im Grundrisse dargestellt. Eine Röhre *d* führt in den Behälter hinein; in diese Röhre *d* wird das an der Flasche Fig. 514 befindliche Röhrchen *n* hineingesteckt und dann die Schraube *t* geöffnet. Die Kohlensäure strömt nun in den Behälter Fig. 551, dessen Handgriffe auf beiden Seiten hohl sind, so daß durch die Löcher in den beiden Böden die verdampfende Kohlensäure entweichen kann, während die feste schneeartige in dem Blechgefäße gesammelt wird. Man braucht nur nach Zurücklegung der Schließen die beiden Theile auseinander zu nehmen, um die feste Kohlensäure herausnehmen zu können.

Diese hat nun eine sehr geringe Temperatur, welche noch dadurch erniedrigt werden kann, daß man Aether darauf tröpfelt; eine ziemliche Quantität Quecksilber kann man mit diesem Brei augenblicklich gefrieren machen; mit dem Finger berührt, erzeugt sie ein schmerzhaftes Gefühl; die Temperatur ist unter — 90°, was jedoch nur mit Thermometern von Weingeist oder Schwefelkohlenstoff ermittelt werden kann.

Man kann, wie schon oben bemerkt wurde, auch Stickstoffoxydul mit Hülfe des Natterer'schen Apparates verdichten. Wenn die Oeffnung im Röhrchen *n* recht fein ist, so erhält man das ausströmende Stickstoffoxydulgas auch in freier Luft im flüssigen Zustande. Natterer sammelte ein kleines Trinkglas voll dieser Flüssigkeit, die sich bei weitem länger erhielt als feste Kohlensäure und die niedrigste Temperatur liefert, die man bis jetzt kennt. Ein zu diesem Zwecke eigens vorgerichtetes Thermometer sank auf — 105°, was wohl der Siedepunkt der Flüssigkeit sein dürfte; aus der Flüssigkeit herausgezogen, sank er noch auf — 115°, indem es sich mit einer Kruste von festem Stickstoffoxydul überzog. Alkohol von 0,84 specif. Gewicht wird bei diesen niedrigen Temperaturen zähe, von 0,797 specif. Gewicht bedeutend dickflüssig.

Einige sehr interessante Fälle des Gefrierens durch rasche Verdampfung sind bereits auf Seite 603 besprochen worden.

Die Alcarazzas, deren man sich in Spanien bedient, um Wasser und geistige Getränke kühl zu erhalten, sind poröse Gefäße, welche eine große Oberfläche für die Verdunstung bieten. Die im Inneren befindliche Flüssigkeit sickert durch die Wände durch, sie verdampft rasch in einer etwas bewegten Luft, namentlich wenn man diese Gefäße unter den Bäumen, an welchen sie aufgehängt sind, hin- und herschwingen läßt; auf diese Weise wird das Gefäß sammt der darin enthaltenen Flüssigkeit auf einer Temperatur erhalten, welche bedeutend tiefer ist, als die der umgebenden Luft.

Man kann den Versuch mit porösen Thonzellen machen, wie sie zu der Bunsen'schen Zinkkohlenkette gebraucht werden.

Die reichliche Ausdünstung, welche fortwährend an der Oberfläche lebender Geschöpfe vor sich geht, ist ebenfalls eine Ursache von Abkühlung. Wir werden später sehen, wenn von der thierischen Wärme die Rede ist, daß das

Blut der warmblütigen Thiere eine feste Temperatur hat, welche ohne die größten Nachtheile für den Organismus weder steigen noch sinken und nicht um einige Grade variiren kann, ohne daß der Tod erfolgt. Beim Menschen, in welchem Klima er auch wohnen mag, beträgt diese Temperatur 37° C. In der heißen Zone, wo die Luft häufig 40 bis 50° C. warm ist, leben die Menschen, ohne daß ihre Blutwärme die Temperatur der heißen Atmosphäre erreicht, weil sie durch die bedeutende Ausdünstung beständig abgekühlt werden.

Gießt man etwas Weingeist oder noch besser Schwefeläther auf die Hand, so fühlen wir eine merkliche Erkaltung, weil die Flüssigkeiten die zu ihrer Verdunstung nöthige Wärme aus der Hand nehmen. — Wenn wir an heißen Tagen in Zugluft treten, so fühlen wir alsbald eine erfrischende Kühle. Es ist dies keineswegs die Folge davon, daß uns der Zug kalte Luft zuführt; die an uns vorüberstreichende Luft mag, wie wir uns durch das Thermometer überzeugen können, sehr warm sein, der Zug bringt uns doch diese Abkühlung, weil er eine lebhafte Verdunstung auf der Haut erhält. — Wir haben das Gefühl einer drückenden Schwüle, wenn wir uns in einer mit Feuchtigkeit gesättigten windstillen Atmosphäre befinden, in welcher keine Verdunstung an unserem Körper stattfinden kann.

Drittes Capitel.

Specifische Wärme der Körper.

---

216 **Begriff der specifischen Wärme.** Wenn man 1 Pfund Wasser von 10° mit 1 Pfund Wasser von 60° rasch mischt, so wird die Mischung nahezu die mittlere Temperatur von 35° haben. Dieselbe Wärmemenge, welche das eine Pfund Wasser abgab, um von 60 auf 35°, also um 25° zu erkalten, hat auch gerade hingereicht, um die Temperatur des anderen Pfundes Wasser um eben so viel Grade, nämlich von 10 auf 35°, zu erhöhen.

Anders verhält sich die Sache, wenn wir 1 Pfund Wasser mit 1 Pfund irgend einer anderen Substanz mengen. Gießt man z. B. 1 Pfund Wasser von 10° und 1 Pfund Terpentinöl von 60° zusammen, so wird die wohl durch einander gerüttelte Mengung nur eine Temperatur von ungefähr 24° zeigen, das Pfund Terpentinöl hat also 36° abgeben müssen, damit 1 Pfund Wasser nur um 14° erwärmt wird. Die nämliche Wärmemenge also, welche in 1 Pfund Terpentinöl eine Temperaturerhöhung von 36° bewirkt, kann die Temperatur von 1 Pfund Wasser nur um 14° erhöhen. Um also die Temperatur des Terpentinöls um eine bestimmte Anzahl von Graden zu erhöhen, bedarf es nur $\frac{14}{36}$ oder ungefähr 0,4 von der Wärmemenge, welche nöthig ist, um in einer gleichen Masse Wasser die gleiche Temperaturerhöhung hervorzubringen.

Aehnlich mit anderen Stoffen. Um gleiche Massen Wasser und Quecksilber um gleich viel Grade zu erwärmen, bedarf man für das letztere nur 0,033 der Wärmemenge, welche für das erstere erforderlich ist. Um gleiche Temperaturerhöhung zu bewirken, muß man dem Wasser 30mal so viel Wärme zuführen, als einer gleichen Masse Quecksilber, oder mit anderen Worten, die Wärmecapacität des Wassers ist ungefähr 30mal so groß als die des Quecksilbers.

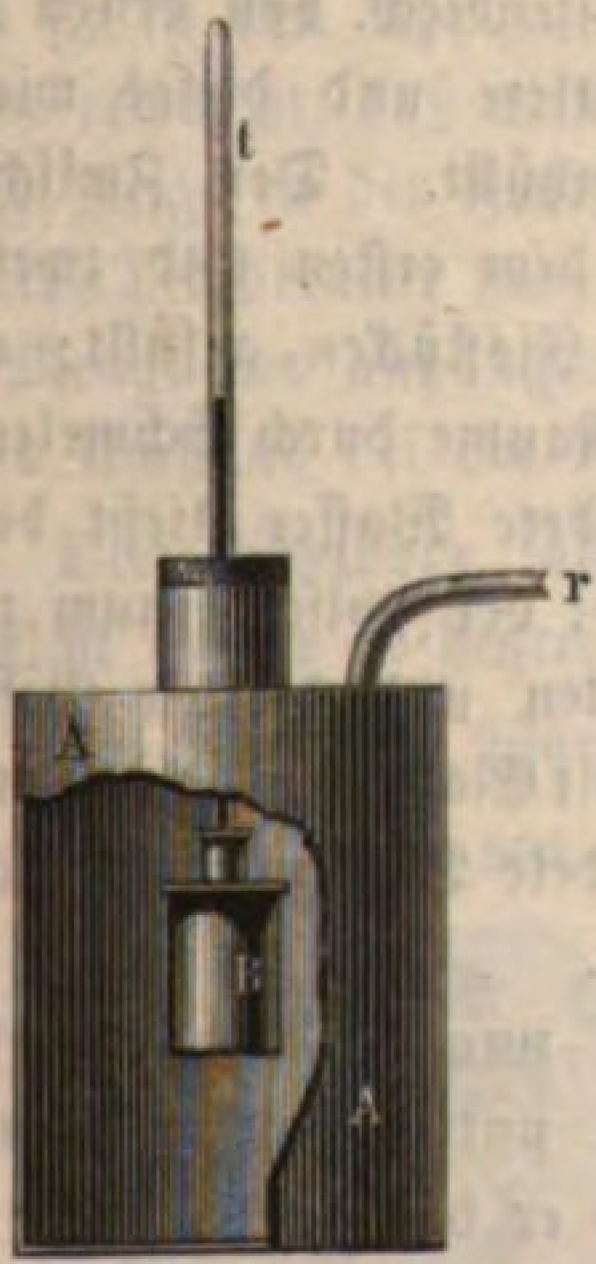
Um die Wärmecapacitäten verschiedener Körper mit einander zu vergleichen, nimmt man das Wasser zum Ausgangspunkt. Bezeichnet man die Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Temperatur von 1 Gramm Wasser um 1° C. zu erhöhen, mit 1, so ist die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um die gleiche Temperaturerhöhung in dem gleichen Gewichte eines anderen Stoffes hervorzubringen, die specifische Wärme dieses Stoffes. Demnach ist also 0,033 die specifische Wärme des Quecksilbers und 0,4 die des Terpentinöls.

Um den Werth der specifischen Wärme für verschiedene Körper zu ermitteln, hat man hauptsächlich drei Methoden in Anwendung gebracht, die wir nun der Reihe nach betrachten wollen.

Methode des Erkaltens. Wenn ein erwärmter Körper in einen Raum gebracht wird, in dem er nur durch Wärmestrahlung erkalten kann, so wird er unter übrigens gleichen Umständen um so langsamer erkalten, je größer seine specifische Wärme ist. Darauf gründete zuerst Mayer ein Verfahren, um die specifische Wärme der Körper zu ermitteln; später haben Dulong und Petit nach dieser Methode die specifische Wärme einer Reihe von Körpern mit großer Sorgfalt bestimmt. 217

Der Apparat, den sie anwandten, hatte ungefähr die Fig. 553 dargestellte Einrichtung. Er besteht aus einem bleiernen Behälter A, dessen innere Wände mit Ruß geschwärzt sind und welches luftleer gemacht werden kann. In der Mitte dieses Raumes befindet sich ein kleines aus dünnem Silberblech verfertigtes Büchschen B, welches die zum Versuch bestimmte Substanz enthält. Wenn dieser Körper ein fester ist, so wird er gepulvert und das Pulver fest in das silberne Gefäß hineingedrückt. In der Mitte von B befindet sich das Gefäß eines Thermometers, welches ringsum von der die Büchse füllenden Substanz umgeben ist. Das Rohr dieses Thermometers kann luftdicht in den Deckel des Gefäßes A eingesetzt werden. Das Rohr r dient zum Evacuiren.

Fig. 553.



Das Silbergefäß wird nun mit der darin enthaltenen Substanz auf 15 bis 20° erwärmt und in das bleierne Gefäß A hineingebracht, welches selbst in ein Wasserbad von constanter Temperatur eingetaucht ist. Nun wird das Gefäß A luftleer gemacht, und man beobachtet, wie viel Zeit nöthig ist, damit das Thermometer von einer Temperatur, welche die Temperatur des Wasserbades um 10° übersteigt, um 5° fällt.

Wenn nun die silberne Hülle in gleichen Zeiten gleich viel Wärme ausstrahlt, so ist offenbar der Wärmeverlust, welchen die ganze Masse während der Temperaturerniedrigung von 5° erleidet, der Zeit proportional, welche zu dieser Erkaltung nöthig ist.

Gesetzt nun, für irgend eine Substanz sei diese Zeit gleich z, für eine andere sei sie z', so verhalten sich offenbar die während einer Temperaturerniedrigung von 5° abgegebenen Wärmemengen wie z zu z'; wenn aber m und m', c und c' die Gewichte und Wärmecapacitäten der beiden Körper sind, so sind die Wärmemengen, welche sie während einer Temperaturerniedrigung von 5° abgeben, $5mc$ und $5m'c'$, man hat also

$$\frac{mc}{m'c'} = \frac{z}{z'},$$

und danach läßt sich das Verhältniß der Wärmecapacitäten c und c' berechnen; doch muß man, wenn die Rechnung genaue Resultate geben soll, auch noch die von der Silberhülle selbst und dem Thermometer abgegebene Wärme in Rechnung bringen.

Regnault hat gezeigt, daß diese Methode keine ganz zuverlässigen Resultate geben kann, weil sie Vieles voraussetzt, was nicht bewiesen ist; sie setzt nämlich voraus, daß das Erkalten durch alle Partien der Substanz gleichmäßig vor sich geht und daß alle Substanzen ihre Wärme mit gleicher Leichtigkeit an die Silberhülle abgeben.

218 **Die Methode des Eisschmelzens** wurde von Lavoisier und Laplace in Anwendung gebracht. Fig. 554 ist der Apparat dargestellt, dessen sie sich bedienten; er besteht aus drei Gefäßen von Eisenblech, von denen das größte das mittlere und dieses wieder das kleinste einhüllt. Der Zwischenraum zwischen dem ersten und zweiten Gefäße ist mit Eisstücken gefüllt; und das in diesem Raume durch Schmelzung des Eises gebildete Wasser fließt durch den Hahn d ab; der Zwischenraum zwischen dem zweiten und dritten Gefäße ist gleichfalls mit Eisstücken gefüllt, und das hier gebildete Wasser fließt durch den Hahn e ab.

Fig. 554.



Wenn man nun in den innersten Raum den zu untersuchenden Körper bringt, so wird er bis auf 0 Grad erkalten; alle Wärme, welche er abgegeben hat, diente nur, um Eis zu schmelzen, welches durch den Hahn e abfloß, und wenn man die Masse und die anfängliche Temperatur des in den innersten Raum gebrachten Körpers kennt, wenn man ferner weiß, wie viel Eis durch die von ihm abgegebene Wärme geschmolzen wurde, so kann man leicht die specifische Wärme des Körpers berechnen.

Ein Beispiel mag dies erläutern: Gesetzt, man habe eine auf 100° er-

wärmte eiserne, 2 Kilogramme schwere Kugel in das Calorimeter gebracht, so würde die von ihr während ihres Erkaltens bis auf 0° abgegebene Wärme ungefähr 293 Milligramme Eis geschmolzen haben. Nun aber haben wir gesehen, daß die Wärme, welche 1 Kilogramm Wasser von 79 Graden abgiebt, um auf 0° zu erkalten, gerade hinreicht, um 1 Kilogramm Eis zu schmelzen; hätte man also 2 Kilogramme Wasser von 79° in den Apparat gebracht, so würden 2 Kilogramme Eis geschmolzen worden sein, 2 Kilogramme Wasser von 100° würden also 2,53 Kilogramme Eis geschmolzen haben. Wir sehen also, daß, wenn gleiche Massen Wasser und Eisen von 100° auf 0° erkalten, aus beiden nicht gleiche Wärmemengen austreten, sondern daß bei dieser Erkaltung das Eisen viel weniger, und zwar ungefähr 0,11mal weniger Wärme abgiebt, als das Wasser. Um also gleiche Massen Eisen und Wasser von 0° auf 100° zu erwärmen, braucht man auch dem Eisen nur 0,11mal soviel Wärme zuzuführen, als dem Wasser, die specifische Wärme des Eisens ist also 0,11, wenn wir die des Wassers zur Einheit nehmen.

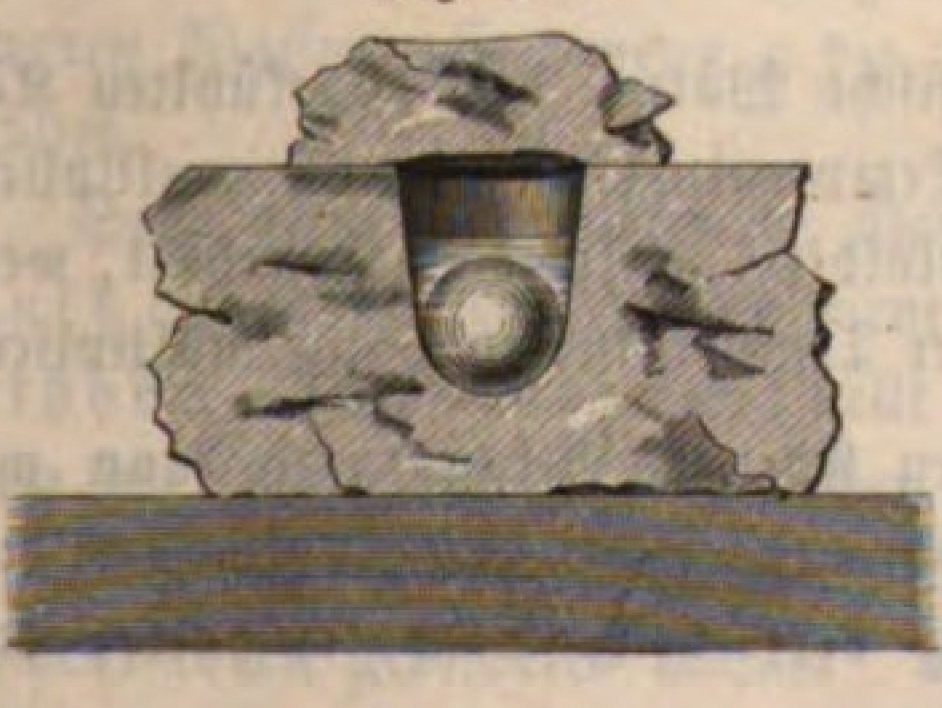
Das Eis in dem äußeren Mantel des Calorimeters dient nur dazu, die Wärme der äußeren Umgebung abzuhalten, so daß man überzeugt sein kann, daß alles Wasser, welches durch den Hahn *e* abfließt, durch die Wärme gebildet worden ist, welche der in den innersten Theil des Calorimeters gebrachte Körper abgegeben hat, und daß in dem inneren Mantel des Apparates kein Eis durch die von außen eindringende Wärme geschmolzen werden kann.

Die Körper, deren specifische Wärme bestimmt werden soll, werden, bevor man sie in den Apparat bringt, dadurch bis zu einem bestimmten Temperaturgrade erwärmt, daß man sie in heißes Wasser oder heißes Oel taucht. Wenn sie so lange in der Flüssigkeit waren, daß man überzeugt sein kann, daß sie dieselbe Temperatur haben, werden sie rasch in das Calorimeter gebracht. Wenn die Menge der anhängenden heißen Flüssigkeit nur etwas bedeutend ist, darf dieser Umstand bei der Berechnung der Resultate nicht unberücksichtigt bleiben.

Diese Methode läßt sich nicht für alle Substanzen anwenden, weil man sie nicht immer in hinreichender Menge und in passender Form erhalten kann.

Die specifische Wärme von Körpern, die man in passender Form erhalten kann, läßt sich nach der Methode des Eisschmelzens auch in folgender Weise ermitteln; man macht in ein massives festes Eisstück eine Höhlung, in welche man den erwärmten Körper bringt, Fig. 555, und welche man dann mit einem Deckel von Eis bedeckt. Dies Verfahren kann ziemlich genaue Resultate geben, wenn die Temperatur des Eisstückes sowohl, als die der umgebenden Luft 0° ist.

Fig. 555.



219 **Mischungsmethode.** Diese Methode besteht im Wesentlichen darin, daß man eine gewogene Menge des zu untersuchenden Körpers bis auf eine bestimmte Temperatur erwärmt und dann in ein Gefäß mit Wasser eintaucht, dessen Temperatur durch Abkühlung jenes Körpers erhöht wird; kennt man nun die Quantität des Kühlwassers, hat man ermittelt, welche Temperaturerhöhung es durch die Abkühlung des eingetauchten Körpers erleidet, so läßt sich daraus die specifische Wärme dieses Körpers berechnen.

Nehmen wir an, eine 200 Gramm schwere bis zu 100° erwärmte Platinkugel sei in eine 15° warme Wassermasse von 105 Gramm eingetaucht worden und habe sie durch ihre Abkühlung auf 20°, also um 5° erwärmt, so ist klar, daß die 200 Gramm Platin um 80° abgekühlt werden mußten, um 105 Gramm Wasser um 5° zu erwärmen. Dieselbe Wärmemenge, welche die Platinkugel abgegeben hat, würde aber demnach auch hingereicht haben, um die Temperatur von 525 Gramm Wasser um 1° zu erhöhen. Wäre die Platinkugel nur 1 Gramm schwer gewesen, so hätte die von ihr bei einer Temperaturerniedrigung von 80° abgegebene Wärmemenge auch nur $\frac{525}{200}$, also nur 2,625 Gramm Wasser um 1° oder 1 Gramm Wasser um 2,625° erwärmen können. Daraus geht aber hervor, daß dieselbe Wärmemenge, welche die Temperatur von 1 Gramm Platin um 80° erhöht, die Temperatur einer gleichen Wassermasse nur um 2,625° erhöhen kann, das Platin bedarf also nur $\frac{2,625}{80}$, also 0,0328mal weniger Wärme, um eine gleiche Temperaturerhöhung zu erfahren, wie eine gleiche Wassermasse; die specifische Wärme des Platins ist demnach 0,0328.

Bezeichnen wir mit m das Gewicht und mit t die Temperaturerhöhung des Kühlwassers (in dem eben berechneten Beispiele 105 Gramm und 5°), mit m' und t' das Gewicht und die Temperaturerniedrigung des abgekühlten Körpers (in unserem Beispiele 200 Gramm Platin und 80°), so ergiebt sich aus der eben für einen concreten Fall durchgeführten Betrachtungsweise für die Berechnung der specifischen Wärme c des abgekühlten Körpers folgende Formel:

$$c = \frac{m \cdot t}{m' t'},$$

das heißt in Worten, man findet die specifische Wärme des abgekühlten Körpers, wenn man sein Gewicht mit seiner Temperaturerniedrigung multiplicirt und mit diesem Producte in das Product dividirt, welches man erhält, wenn man das Gewicht des Kühlwassers mit seiner Temperaturerhöhung multiplicirt.

Ist die specifische Wärme eines erhitzten Körpers bekannt, so kann man nach dieser Formel aus der Temperaturerhöhung, welche das Kühlwasser beim Ablöschen desselben erleidet, die Temperatur berechnen, welche er hatte, denn nach dieser Formel ist

$$t' = \frac{m t}{m' c}.$$

Nehmen wir an, man hätte eine 200 Gramm schwere Platinkugel in dem Feuer eines Ofens erhitzt, sie dann in einer Wassermasse von 1000 Gramm abgelöscht, und dadurch wäre die Temperatur des Wassers von 13° auf 20°, also um 7° erhöht worden, so haben wir $m = 1000$, $m' = 200$, $t = 7$; die specifische Wärme des Platins $c = 0{,}033$ gesetzt, ergiebt sich

$$t' = \frac{1000 \cdot 7}{2000 \cdot 0{,}033} = \frac{7000}{6{,}6} = 1061.$$

Die Temperatur der heißen Platinkugel wäre demnach 1061° über 20°, also 1081°, gewesen. Dieses Resultat ist jedoch nur eine erste Annäherung, weil, wie Pouillet gezeigt hat, die specifische Wärme des Platins für höhere Temperaturen zunimmt. Aus einer Tabelle, die alsbald folgen wird, sieht man, daß für eine Temperatur von 1000°, und das ist ja, wie wir aus der ersten Näherungsrechnung sehen, die Temperatur, welche die Platinkugel ungefähr hatte, die specifische Wärme des Platins gleich 0,0373 ist. Diesen Werth haben wir also für c in obige Gleichung zu setzen, und dann ergiebt sich

$$t' = \frac{1000 \cdot 7}{200 \cdot 0{,}0373} = \frac{7000}{7{,}46} = 938.$$

Die Temperatur der Platinkugel war demnach $938 + 20 = 958°$. Auf diese Weise kann die Kenntniß der specifischen Wärme zur Bestimmung hoher Temperaturen dienen. Pouillet fand nach dieser Methode die Temperatur des schmelzenden Eisens gleich 1500 bis 1600°.

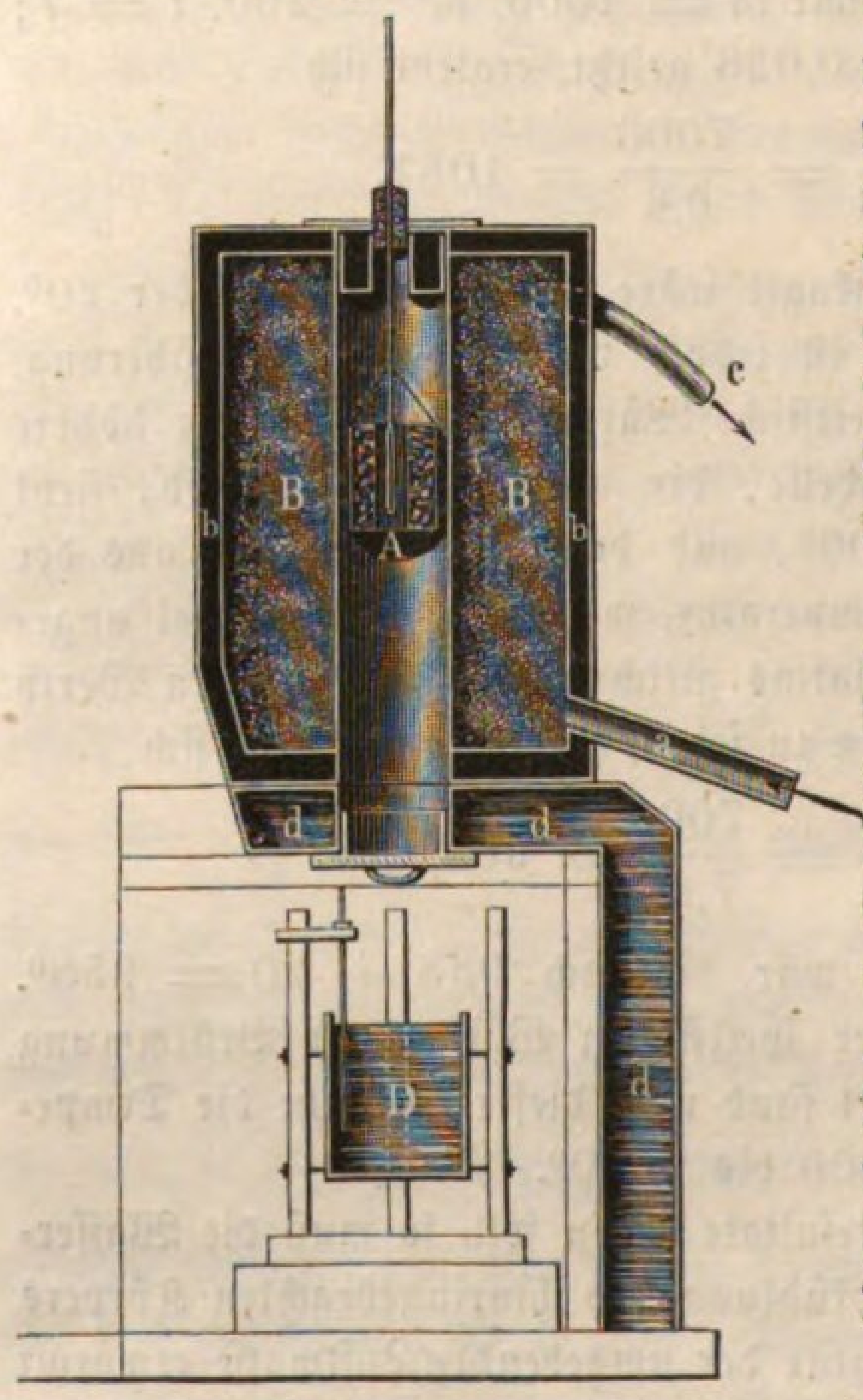
Wenn diese Methode brauchbare Resultate geben soll, so muß die Wassermasse so groß sein, daß sie durch die Abkühlung des hineingebrachten Körpers nur um wenige Grade über die Temperatur der umgebenden Luftmasse erwärmt wird; dann aber muß man auch die Temperaturerhöhung des Gefäßes in Rechnung bringen. Wäre z. B. das Gefäß von Kupferblech und n Gramm schwer, so ist klar, daß zu einer bestimmten Temperaturerhöhung dieses Gefäßes eben so viel Wärme nöthig ist, als um die Temperatur einer $n \cdot 0{,}095$ Gramm schweren Wassermasse um eben so viel Grade zu erhöhen, weil die specifische Wärme des Kupfers 0,095 von der des Wassers ist. Man kann allgemein sagen, die Temperaturerhöhung eines n Gramm schweren Gefäßes erfordert eben so viel Wärme, wie eine gleiche Temperaturerhöhung einer $n \cdot c$ Gramm schweren Wassermasse, wenn c die specifische Wärme der Gefäß-Substanz bezeichnet.

Sehr genaue Versuche zur Bestimmung der specifischen Wärme hat Regnault angestellt, und zwar bedient er sich zu diesem Zweck der Mischungsmethode. Fig. 556 (a. f. S.) stellt den Regnault'schen Apparat zur Bestimmung der specifischen Wärme fester und tropfbar flüssiger Körper dar.

Den oberen Theil dieses Apparates bildet ein aus drei concentrischen Blechcylindern gebildetes Gefäß. Der mittlere Raum A ist unten durch eine leicht zu entfernende Blechkappe, oben mittelst eines Korkes verschlossen, in welchem ein Thermometer steckt. Ringsum ist der Raum A vom Dampfraum B und B wieder von dem Luftmantel b umgeben.

In der Mitte von *A* hängt an einem durch den oben schließenden Kork festgehaltenen Faden ein ringförmiges möglichst leicht gearbeitetes Drahtkörbchen, in dessen innerer Höhlung sich das Gefäß des schon erwähnten Thermometers befindet, ohne jedoch damit fest verbunden zu sein. In dieses Körbchen wird nun die zu untersuchende Substanz gelegt und zwar als Stücke von entsprechender Größe, wenn man mit festen oder in möglichst dünnwandige Glasröhrchen eingeschlossen, wenn man mit flüssigen Stoffen zu thun hat.

Fig. 556.



Aus einem kleinen Dampfkessel wird nun ein continuirlicher Dampfstrom in den Raum *B* geleitet, aus welchem dann die Dämpfe durch das Rohr *c* nach einem Kühlapparate abgeleitet werden. Unter diesen Umständen wird nach einiger Zeit der ganze innere Raum *A* sammt dem Körbchen und seinem Inhalt eine dem Siedepunkte des Wassers nahe kommende constante Temperatur angenommen haben, welche man am Thermometer ablesen kann.

Ist dies geschehen, so wird der Deckel unter *A* entfernt und das Körbchen mit seinem Inhalt rasch in das aus sehr dünnem Messingblech verfertigte, von seidenen Fäden getragene und mit Wasser gefüllte Gefäß *D* herabgelassen. Das Gefäß *D* wird nun nach der linken Seite unserer Figur hin hervorgezogen, das Wasser umgerührt und dann beobachtet, wie hoch seine Temperatur steigt, welche natürlich auch vor dem Herablassen des Körbchens beobachtet worden sein muß.

Der Raum *d* ist mit kaltem Wasser gefüllt, um eine Erwärmung von *D* durch den auf der rechten Seite stehenden Dampfkessel uud durch die Wärme des Dampfraumes *B* zu verhindern.

Die auf die angegebene Weise gemachten Beobachtungen liefern nun die Data, aus welchen sich die specifische Wärme der im Körbchen enthaltenen Stoffe berechnen läßt, wobei natürlich die specifische Wärme des Messings und des Glases in Rechnung zu bringen ist.

Für Körper, welche in Wasser löslich sind, wird *D* mit Terpentinöl gefüllt (Pogg. Ann. Bd. LI, LIII und LXII.)

220 **Relation zwischen specifischer Wärme und Atomgewicht.** Die Bestimmung der specifischen Wärme erhielt durch die Arbeiten von Dulong und Petit eine große Wichtigkeit für die Chemie, indem sie fanden, daß

das Product, welches man erhält, wenn man die specifische Wärme eines Elementes mit seinem Atomgewichte multiplicirt, stets denselben Werth habe. So fanden sie z. B. die specifische Wärme des Eisens gleich 0,1100; das Atomgewicht dieses Metalls ist aber 339,2, und das Product dieser beiden Größen ist gleich 37,31. Multiplicirt man die specifische Wärme des Kupfers 0,0949 mit seinem Atomgewichte 395,7, so erhält man das Product 37,55, einen Werth, welcher mit dem für das Eisen gefundenen fast vollkommen übereinstimmt. Ebenso fand sich, daß dieses Product für alle metallischen Elemente fast genau denselben Werth habe, es schien also das Gesetz begründet zu sein, daß die specifische Wärme der metallischen Elemente ihrem Atomgewichte umgekehrt proportional sei.

Dadurch war nun ein Mittel mehr gegeben, das Atomgewicht eines Körpers kennen zu lernen und die Werthe der auf anderem Wege gefundenen Atomgewichte zu controliren. Die Atomgewichte der Elemente waren zu der Zeit, wo Dulong und Petit diese Arbeiten ausführten, noch nicht so fest bestimmt, als jetzt; oft hatte man für denselben Körper unter mehreren Atomgewichten zu wählen, und Dulong und Petit wählten natürlich das mit ihrem Gesetze am besten harmonirende.

Später wurden die Atomgewichte auf anderem Wege genauer bestimmt, aber das Dulong'sche Gesetz stellte sich dadurch nicht noch evidenter heraus, im Gegentheil ergaben sich Abweichungen, welche dem Gesetze gerade zu widersprechen schienen. So erhält man z. B. als Product der specifischen Wärme des Kobalts, wie sie von Dulong und Petit bestimmt worden war, nämlich 0,1498, und des von Berzelius bestimmten Atomgewichtes dieses Metalls, nämlich 369, das Product 55,28.

Dieser Umstand war es besonders, welcher Regnault veranlaßte, die specifische Wärme der Elemente noch einmal genau zu untersuchen. Vorerst war eine Ausmittelung der specifischen Wärme derjenigen Substanzen nöthig, welche zur Construction der Apparate dienten. Regnault fand

die specifische Wärme	des	Messings	. . . .	0,09391,
» »	»	Glases	. . . .	0,19768,
» »	»	Terpentinöls	. .	0,42593,
» »	»	Quecksilbers	. . .	0,03332.

Die folgende Tabelle enthält die Endresultate seiner Versuche über die specifische Wärme fester Elemente, die in chemisch reinem Zustande untersucht wurden, neben denen von Dulong und Petit.

Name der Substanz.	Gefundene specif. Wärme.	Specif. Wärme nach Dulong u. Petit.	Atomgewicht nach Berzelius.	Von Regnault angenommenes Atomgewicht.	Product aus der specif. Wärme in das letztere.
Eisen	0,11379	0,1100	339,21	339,21	38,597
Zink	0,09555	0,0927	403,23	403,23	38,526
Kupfer	0,09515	0,0949	395,70	395,70	37,849
Kadmium	0,05669		696,77	696,77	39,502
Silber	0,05701	0,0557	1351,6	675,80	38,527
Arsenik	0,08140	0,081 A	470,04	470,04	38,261
Blei	0,03140	0,0293	1294,5	1294,5	40,647
Wismuth	0,03084	0,0288	886,92	1330,4	41,028
Antimon	0,05077	0,0507	806,45	806,45	40,944
Zinn	0,05623	0,0514	735,29	735,29	41,345
Nickel	0,10863	0,1035	369,68	369,68	40,160
Kobalt	0,10696	0,1498	368,99	368,99	39,468
Platin	0,03243	0,0314	1233,5	1233,5	39,993
Palladium	0,05927		665,00	665,90	39,468
Gold	0,03244	0,0298	1243,0	1243,0	40,328
Schwefel	0,20259	0,1880	201,17	201,17	40,754
Selen	0,08370		494,58	494,58	41,403
Tellur	0,05155	0,0912	801,76	801,76	41,549
Jod	0,05412	0,089 A	789,75	798,75	42,703

Die in der dritten Columne mit A bezeichneten Zahlen sind von Avogadro bestimmt worden.

Diese Versuche Regnault's entfernen nun wieder die Zweifel über die Richtigkeit des Dulong'schen Gesetzes. Um dieses Gesetz mit völliger Schärfe zu beweisen, müßten die Zahlen der letzten Columne unter sich vollkommen gleich sein, was nicht der Fall ist; diese Zahlen schwanken zwischen 38 und 42, eine Differenz, welche für die Beobachtungsfehler bei weitem zu groß ist. Bedenkt man jedoch, daß die Atomgewichte von 200 bis gegen 1400 steigen, während die in Rede stehenden Producte innerhalb der Gränze 38 bis 42 bleiben, so muß man ohne Zweifel das Dulong'sche Gesetz für ein der Wahrheit sehr nahe kommendes halten.

Regnault fand sich veranlaßt, statt der Berzelius'schen Atomgewichte in einigen Fällen andere anzunehmen; so nimmt er z. B. das Atomgewicht des

Silbers um die Hälfte kleiner, was er auch durch den Isomorphismus des Schwefelsilbers mit dem Schwefelkupfer für gerechtfertigt hält. Für Wismuth nimmt er die früher gebräuchliche Atomzahl 1330 statt der jetzt angenommenen 887 an, wofür auch das ähnliche Verhalten einiger Wismuthverbindungen mit den analogen Antimonverbindungen spricht.

Die specifische Wärme eines und desselben Körpers kann sich merklich ändern, wenn seine Dichtigkeit eine Veränderung erleidet; so wird z. B. die specifische Wärme des Kupfers merklich kleiner, wenn durch Harthämmern seine Dichtigkeit zunimmt; die specifische Wärme des schmiedbaren Kupfers ist, nach Regnault, 0,095, die des gehämmerten Kupfers 0,093.

Die specifische Wärme des Kohlenstoffs ändert sich bedeutend mit dem Dichtigkeitszustande. Regnault fand für Holzkohle 0,2415, für Steinkohle 0,2009 und für Diamant 0,1469; die specifische Wärme ist also um so geringer, je größer die Dichtigkeit ist.

Daß die specifische Wärme der Körper für höhere Temperaturen zunimmt, wie schon oben angeführt wurde, ersieht man aus folgenden von Dulong und Petit gefundenen Werthen:

	Mittlere Capacität	
	zwischen 0° u. 100°	zwischen 0° u. 300°
Eisen	0,1098	0,1218
Quecksilber . .	0,0330	0,0350
Zink	0,0927	0,1015
Antimon . . .	0,0507	0,0549
Silber	0,0557	0,0611
Kupfer . . .	0,0949	0,1013
Platin . . .	0,0335	0,0355
Glas	0,177	0,190

Nach Pouillet's Versuchen ist die mittlere specifische Wärme des Platins

zwischen 0° und 100°	0,03350
» 0 » 300	0,03434
» 0 » 500	0,03518
» 0 » 700	0,03602
» 0 » 1000	0,03728
» 0 » 1200	0,03818

Da die specifische Wärme eines und desselben Körpers veränderlich ist, so kann die specifische Wärme einer Substanz auch nur für einen bestimmten Zustand der Dichtigkeit und für eine bestimmte Temperatur dem Dulong'schen Gesetze genügen; wenn also die Erfahrung dieses Gesetz nicht in aller Strenge, sondern nur annähernd bestätigt, so ist höchst wahrscheinlich der Grund darin zu suchen.

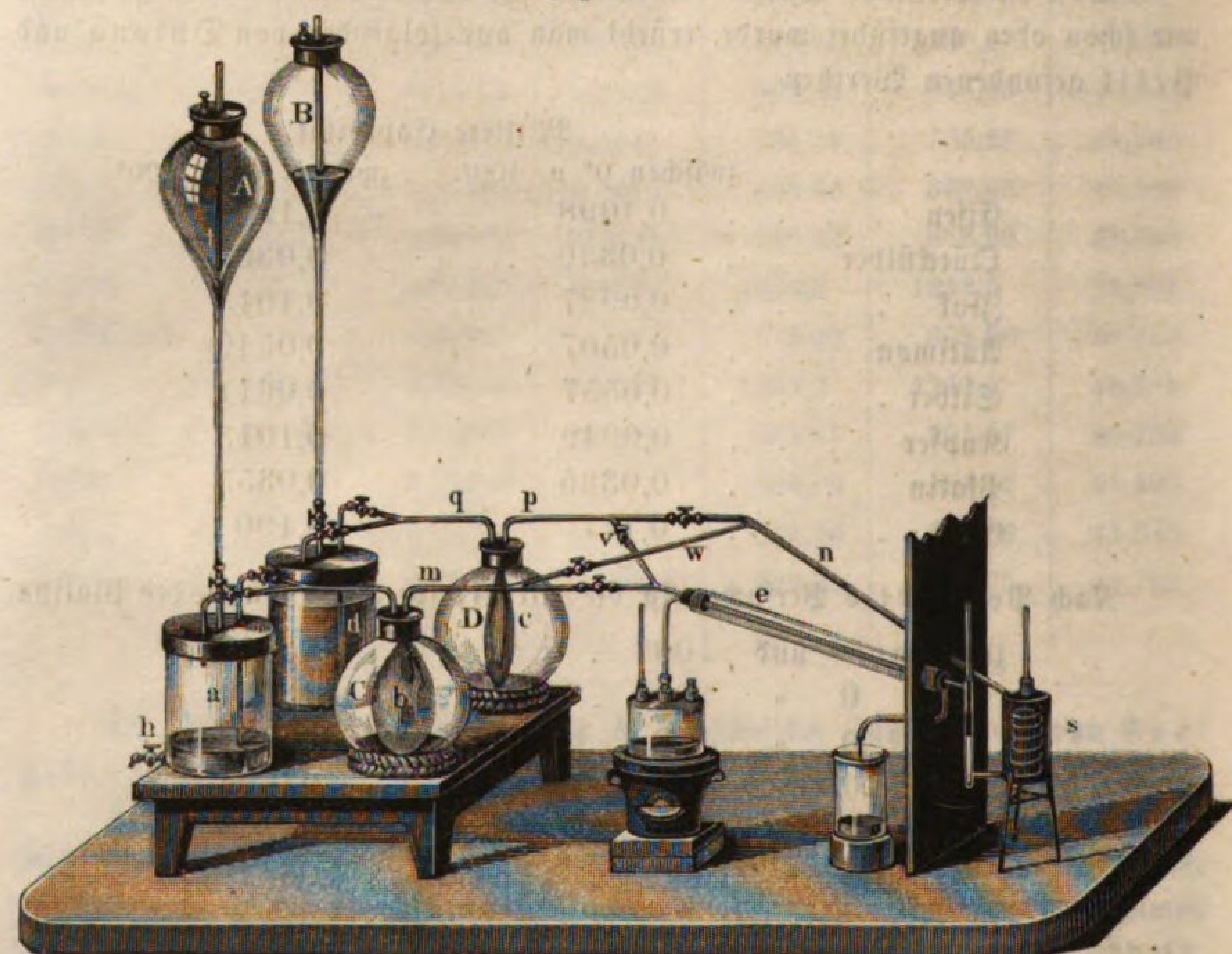
Die specifische Wärme zusammengesetzter Körper ist von Avogadro, Neumann und Regnault, und zwar von Letzterem am vollständigsten, untersucht worden. Er gelangte durch eine große Reihe von Versuchen zu dem

Satze, daß bei allen zusammengesetzten Körpern von gleicher atomistischer und ähnlicher chemischer Zusammensetzung die specifische Wärme im umgekehrten Verhältnisse der Atomgewichte stehe. So ist z. B. für Oxyde mit 1 Aeq. Sauerstoff das Product der specifischen Wärme und des Atomgewichts gleich 71,9. Für die entsprechenden Schwefelverbindungen ist dies Product 74,5; für Chlormetalle mit 1 Aeq. Chlor ist es 117; für die entsprechenden Bromide und Jodide 151 u. s. w.

221 **Specifische Wärme der Gase.** De la Roche und Berard haben über diesen Gegenstand eine Untersuchung ausgeführt, welche von der Akademie der Wissenschaften zu Paris im Jahre 1812 gekrönt wurde. Der Apparat, welchen sie zu ihren Versuchen anwandten, hatte folgende Einrichtung:

Durch den luftdicht schließenden Deckel eines mit Luft gefüllten Gefäßes *a*, Fig. 557, geht eine Röhre vertical in die Höhe und endigt oben in ein mit

Fig. 557.



Wasser gefülltes Gefäß *A*. Das untere Ende dieser Röhre ist nach oben gekrümmt, und durch die Oeffnung kann das Wasser aus dem Gefäße *A* in das Gefäß *a* herabfließen. Das Gefäß *A* ist gleichfalls durch einen Deckel oben luftdicht verschlossen; durch diesen Deckel geht nun eine an beiden Enden offene Röhre in das Wasser des Gefäßes *A* hinab, und in dem Maaße, als unten Wasser ausfließt, dringen durch das untere Ende *t* dieser Röhre Luftblasen in

das Gefäß A ein; dadurch wird nun die Luft aus dem Gefäße a mit einer constanten Geschwindigkeit, wie sie einer Wassersäule von t bis zur unteren Oeffnung zukommt, ausgetrieben.

Aus dem Gefäße a gehen nun zwei Röhren, die sich zu einer verbinden, nach dem Ballon C; die eine dieser Röhren geht fast bis auf den Boden des Gefäßes a herab, und diese ist jetzt durch einen Hahn abgesperrt; durch die andere hingegen strömt die Luft aus dem oberen Theile des Gefäßes a nach dem Ballon C. In diesem Ballon hängt nun eine Blase b, welche mit dem zu untersuchenden Gase gefüllt ist; aus dieser Blase wird das Gas durch den Druck der comprimirten Luft in C durch die Röhre m in das Schlangenrohr des Calorimeters s getrieben, nachdem es zuvor bei e in einer Weise erwärmt worden ist, die sogleich näher beschrieben werden soll. Nachdem das Gas durch das Schlangenrohr des Calorimeters hindurchgegangen ist, wird es durch die Röhren n und p in die leere Blase c geleitet, die sich in dem Ballon D befindet. Kurz, durch den Druck der Wassersäule wird das Gas aus der Blase b auf einigen Umwegen in die Blase c hineingepreßt. Damit sich aber die Blase c allmälig mit Gas füllen und ausdehnen könne, muß die Luft aus dem Ballon D austreten können. In der That führt von D eine Röhre q, welche sich alsbald in zwei Arme theilt, nach dem mit Wasser gefüllten Gefäße d. Der eine dieser Arme führt zu dem oberen Theile des Gefäßes d, und dieser Arm ist für jetzt durch einen Hahn verschlossen, der andere Arm aber geht fast bis auf den Boden des Gefäßes d. Durch diesen Arm gelangt die aus D herausgepreßte Luft in das Gefäß d. In dem Maaße aber, als die Luft aus D nach d übergeht, fließt das Wasser aus dem Gefäße d durch einen Hahn ab, welcher dem Hahn h am Gefäße a entspricht.

Wenn auf diese Weise die Blase b entleert und c mit Gas gefüllt ist, so ist auch a mit Wasser und d mit Luft gefüllt; es werden alsdann alle Hähne geschlossen, die bis jetzt geöffnet waren, alle bis jetzt geschlossenen aber geöffnet; alsdann wird durch das aus B herabkommende Wasser die Luft in d und D comprimirt, das Gas wird aus der Blase c durch die Röhren p und v nach der Erhitzungsstelle e und von da nach dem Calorimeter getrieben, aus dem Schlangenrohre des Calorimeters aber gelangt das Gas durch die Röhren n, w und m in die Blase b; die Luft aus C wird nach a hinabgepreßt, und das Wasser aus a fließt durch den Hahn h ab. Wenn die Blase b wieder mit Gas gefüllt ist, werden die Hähne abermals verstellt u. s. w. Auf diese Weise kann man eine und dieselbe Gasmenge zu wiederholten Malen mit constantem Drucke durch das Calorimeter hindurchtreiben.

Bei e ist das Rohr, durch welches das Gas hindurchstreicht, von einem weiteren Rohre umgeben, welches stets mit den Dämpfen von kochendem Wasser gefüllt ist. Ein Thermometer zeigt die Temperatur an, mit welcher das Gas in das Calorimeter eintritt, ein anderes Thermometer zeigt seine Temperatur beim Austritte aus demselben.

Selbst wenn kein Gas durch den Apparat hindurchströmt, wenn aber doch die Röhre bei e durch die Wasserdämpfe erwärmt ist, wird dem Calorimeter

eben durch dieses Rohr schon Wärme zugeführt; die Temperaturerhöhung, welche auf diese Weise das Calorimeter erleidet, muß durch vorläufige Versuche ausgemittelt werden, damit man sie gehörig in Rechnung bringen kann.

Um zufällige Temperaturveränderungen von dem Calorimeter abzuhalten, war es durch einen Schirm von dem übrigen Apparate getrennt; ein empfindliches Thermometer zeigte in jedem Augenblicke die Temperatur des Wassers im Calorimeter an.

Wenn das warme Gas fortwährend durch das Calorimeter hindurchstreicht, so wird dieses allmälig erwärmt und nimmt endlich eine constante Temperatur an, wenn es in jedem Augenblicke so viel Wärme empfängt, als es an die Umgebung verliert.

Bei einem Drucke von 76 Centimetern und unter übrigens gleichen Umständen betrug der Ueberschuß der stationären Temperatur des Calorimeters über die Temperatur der Umgebung:

für atmosphärische Luft . . .	15,734°
» Wasserstoffgas	14,214
» Kohlensäure	19,800
» Sauerstoffgas	15,365
» Stickstoffoxydgas	21,246
» ölbildendes Gas	24,435
» Kohlenoxydgas	16,270.

Da nun in gleichen Zeiten gleiche Gasvolume durch den Apparat hindurchstreichen, so müssen offenbar die Werthe der specifischen Wärme der verschiedenen Gasarten für gleiche Volume den eben angegebenen Temperaturüberschüssen proportional sein; bezeichnet man demnach die specifische Wärme der atmosphärischen Luft mit 1, so ergeben sich für gleiche Volume der anderen Gase aus den eben angeführten Zahlen folgende Werthe:

Wasserstoffgas	0,9033
Kohlensäuregas	1,2583
Sauerstoffgas	0,9765
Stickstoffoxydgas	1,3503
Oelbildendes Gas	1,5530
Kohlenoxydgas	1,0340

Wenn man der Reihe nach verschiedene Gase mit gleicher Temperatur und unter demselben Drucke durch das Calorimeter hindurchströmen läßt, so würden, wenn das Calorimeter gar keine Wärme an die Umgebung verlöre, die Wärmecapacitäten der Gase dem Volumen derselben proportional sein, welches durch das Schlangenrohr hindurchströmen muß, um das Wasser stets um dieselbe Anzahl von Graden zu erwärmen. Da es aber nun unmöglich ist, die Erkaltung des Gefäßes zu verhindern, so wurde es zu Anfang des Versuchs unter die Temperatur der Umgebung erkaltet, und der Versuch beendigt, wenn die Temperatur des Calorimeters eben so hoch über der Temperatur der Umgebung stand, als sie anfangs geringer war; so nimmt denn der Apparat wäh-

rend der ersten Hälfte des Versuchs eben so viel Wärme aus der Umgebung auf, als er während der zweiten Hälfte abgiebt; man kann Alles so betrachten, als ob gar keine Erkaltung stattfände. Auf diese Weise fanden sich Werthe für die Wärmecapacität der Gase, welche mit den oben angeführten sehr gut übereinstimmten.

Diese Zahlen gaben die specifische Wärme gleicher Gasvolume bei gleichem Drucke; um die specifische Wärme gleicher Gewichtsmengen zu finden, hat man obige Zahlen nur durch das specifische Gewicht der Gase zu dividiren.

Das Verhältniß der specifischen Wärme der Gase zur specifischen Wärme des Wassers ergiebt sich aus den Versuchen von de la Roche und Berard auf folgende Weise.

Bezeichnen wir mit s die constante Temperatur des Calorimeters, also auch die Temperatur, mit welcher das Gas aus dem Calorimeter austritt, mit t seine Temperatur beim Eintritt, so ist $t - s$ die Temperaturerniedrigung, welche das Gas beim Durchstreichen durch das Calorimeter erleidet. Wenn nun ferner m' die Masse des Gases, welches in einer Minute durchstreicht, und c die specifische Wärme desselben ist, so ist offenbar die in einer Minute von dem Gase an das Calorimeter abgegebene Wärmemenge gleich $m'c\,(t - s)$.

Bezeichnen wir ferner mit m die corrigirte Masse des Calorimeters, d. h. das Gewicht des Wassers, welches darin enthalten und dessen specifische Wärme gleich 1 ist, sammt dem Gewichte des Gefäßes und des Thermometers, multiplicirt mit der specifischen Wärme der Substanzen, aus denen sie verfertigt sind; mit r die corrigirte Temperatur des Calorimeters, d. h. die Temperatur, bis zu welcher es steigen würde, wenn kein Gas durch die Röhre striche und ihm nur durch Leitung von e her Wärme zugeführt würde, so ist $mg\,(s - r)$ die Wärmemenge, welche das Calorimeter in jeder Minute verliert, wo g ein constanter Factor ist, welcher sich leicht bestimmen läßt, wenn man die Geschwindigkeit beobachtet, mit welcher das sich selbst überlassene Calorimeter erkaltet. So lange aber die Temperatur des Calorimeters constant bleibt, ist die Wärmemenge, die ihm zugeführt wird, stets derjenigen gleich, welche es verliert, man hat also

$$m'c\,(t - s) = mg\,(s - r),$$

und daraus läßt sich die Wärmecapacität c des Gases, verglichen mit der des Wassers, berechnen.

Auf diese Weise bestimmten die genannten Physiker die specifische Wärme der atmosphärischen Luft in Beziehung auf das Wasser; es war alsdann leicht, auch die specifische Wärme der anderen Gase auf Wasser zu reduciren.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate der Versuche von de la Roche und Berard über die specifische Wärme der Gase bei gleichem Drucke.

Namen der Gase.	Capacität für gleiche Vol.	Cap. für gleiche Gewichte.	
		Luft = 1.	Wasser = 1.
Atmosphärische Luft .	1,000	1,000	0,267
Sauerstoff	0,976	0,885	0,236
Wasserstoff	0,903	12,340	3,294
Stickstoff	1,000	1,032	0,275
Kohlenoxyd	1,034	1,080	0,288
Stickstoffoxydulgas . .	1,350	0,888	0,237
Kohlensäure	1,258	0,828	0,221
Oelbildendes Gas . .	1,553	1,576	0,421
Wasserdampf	1,960	3,136	0,847

Regnault fand die specifische Wärme der Gase durchgängig geringer als seine Vorgänger; die folgende Tabelle enthält die von ihm erhaltenen Resultate:

Namen der Gase.	Specifische Wärme	
	gleicher Gewichte.	gleicher Volume.
Atmosphärische Luft .	0,2377	0,2377
Sauerstoff	0,2182	0,2412
Wasserstoff	3,4046	0,2356
Stickstoff	0,2440	0,2370
Stickstoffoxyd	0,2315	0,2406
Kohlenoxyd	0,2479	0,2399
Chlor	0,1214	0,2962
Stickstoffoxydul . . .	0,2238	0,3413
Kohlensäure	0,2164	0,3308
Wasserdampf	0,4750	0,2950

Leider ist die Methode, durch welche Regnault zu diesen Resultaten gelangte und durch deren Veröffentlichung die obigen Zahlen erst ihren vollen Werth für die Wissenschaft erlangen würden, noch nicht bekannt geworden.

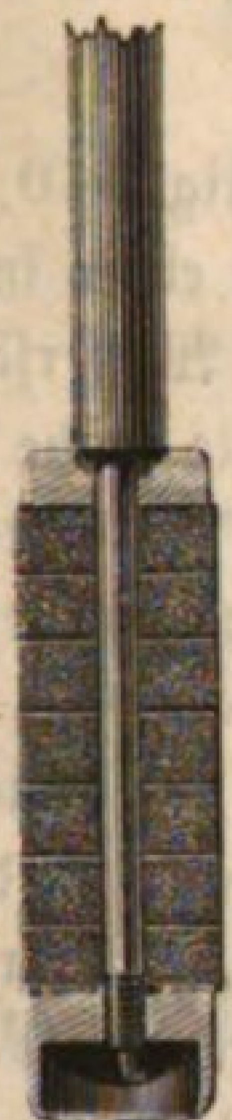
Wärmecapacität der Gase bei constantem Volumen. Wenn 222
eine abgesperrte Luftmasse rasch comprimirt wird, so findet stets eine Wärmeentwickelung statt, wie sich dies namentlich gut durch das pneumatische Feuerzeug erläutern läßt. Dieser Apparat besteht aus einer (am besten messingenen) unten geschlossenen Röhre, Fig. 558, in welcher sich ein aus Lederscheiben gebildeter, fest an die Wand anschließender Kolben auf- und abschieben läßt. Dieser Kolben, welcher mit Oel bestrichen sein muß, damit er bei gutem Schluß doch möglichst leicht geht, ist in Fig. 559 in natürlicher Größe im Durchschnitt dargestellt. Nachdem in die untere Höhlung dieses Kolbens etwas Zunder eingelegt worden ist, wird er oben in das offene Ende des Rohres hineingesteckt und so ein gewisses Luftquantum in demselben abgesperrt. Wenn nun aber, während das geschlossene Ende des Rohres gegen eine feste Widerlage angestemmt, der Kolben durch einen kräftigen Schlag fast bis auf den Boden des Rohres hinabgetrieben und dann rasch wieder herausgezogen wird, so brennt der Schwamm in der Höhlung des Kolbens.

Fig. 558.



$\frac{1}{3}$

Fig. 559.



$\frac{1}{1}$

Die bei dem Einstecken des Kolbens abgesperrte Luft wird bei dem raschen Niederdrücken des Kolbens stark comprimirt und die in Folge dieser Compression stattfindende Wärmeentwickelung ist bedeutend genug, um den Schwamm zu entzünden.

Wir haben im vorigen Paragraphen die specifische Wärme der Gase bei constantem Drucke betrachtet; sie konnten sich bei ihrer Erwärmung frei ausdehnen. Es ist aber auch wichtig, die Wärmecapacität der Gase bei constantem Volumen zu kennen, d. h. zu wissen, welche Wärmemenge nöthig ist, um die Temperatur eines Gases zu erhöhen, wenn man seine Ausdehnung hindert, wenn also durch die Temperaturerhöhung seine Spannkraft vermehrt wird.

Die Idee, die Wärmecapacität der Gase bei constantem Volumen zu ermitteln und sie mit ihrer Wärmecapacität bei constantem Drucke zu vergleichen, rührt von Laplace her.

Nehmen wir an, eine Luftmasse sei durch eine Temperaturerhöhung von t^0 bei unverändertem Drucke ausgedehnt; wird nun diese Luftmasse auf ihr ursprüngliches Volumen zusammengepreßt, so erleidet sie eine abermalige Temperaturerhöhung von t' Graden, ohne daß neue Wärme zugeführt wird; dieselbe Wärmemenge also, welche im Stande ist, die Temperatur dieser Luftmasse um t Grad zu erhöhen, wenn sie sich bei unverändertem Drucke ausdehnen kann, würde eine Temperaturerhöhung von $t + t'$ Graden hervorbringen, wenn keine Ausdehnung stattfinden kann. Die specifische Wärme c bei constantem Drucke ist also größer als die specifische Wärme c' bei constantem Volumen,

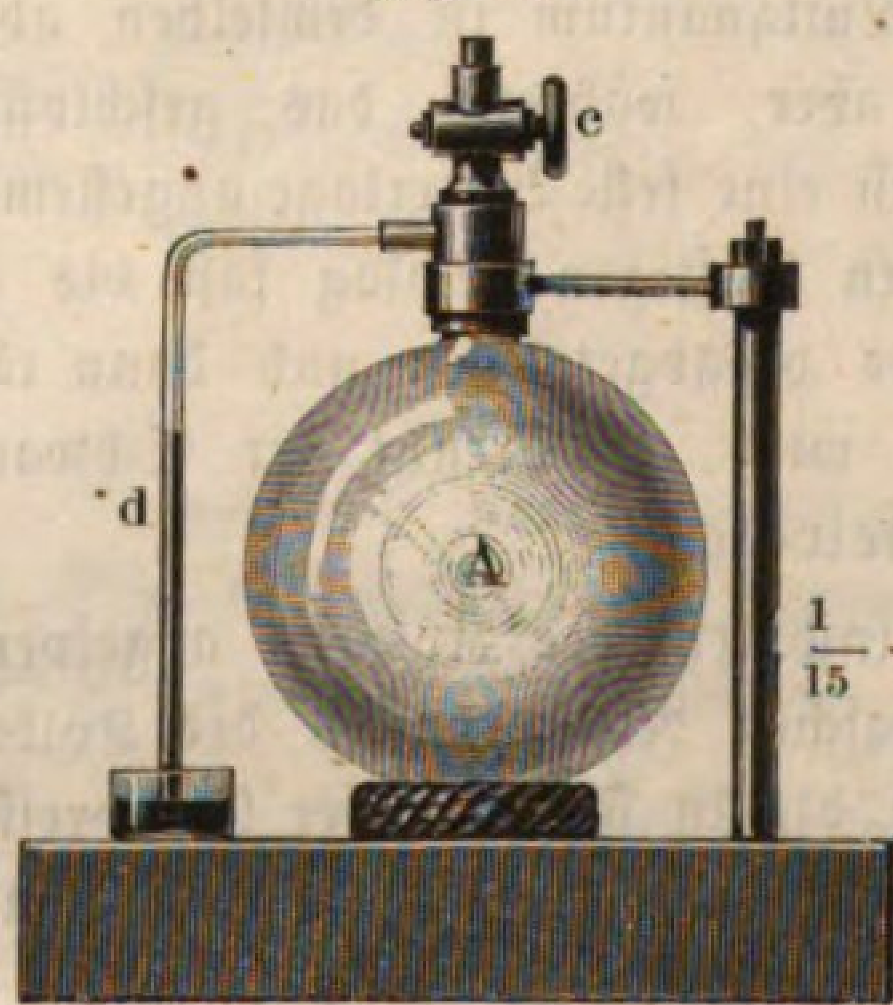
und zwar verhalten sich die Wärmecapacitäten c und c' zu einander, wie $t + t'$ zu t, es ist also

$$\frac{c}{c'} = \frac{t + t'}{t}.$$

Die Temperaturerhöhung, welche durch Compression der Luft hervorgebracht wird, läßt sich direct nicht mit Genauigkeit bestimmen, doch läßt sich der Werth des Quotienten $\frac{c}{c'}$ auf indirectem Wege aus folgendem von Clement und Desormes angestellten Versuche ableiten.

Die Luft in einem 28,4 Liter fassenden Ballon A, Fig. 560, wurde etwas verdünnt, und der Grad der Verdünnung durch die Höhe einer im Manometerrohre d gehobenen Wassersäule gemessen; nehmen wir an, die Höhe dieser Wassersäule habe 188^{mm} betragen. Nun wurde ein Hahn c geöffnet, der so weit war, daß längstens in $^1/_2$ Secunde das Gleichgewicht mit der äußeren Luft wieder hergestellt war, und dann rasch wieder geschlossen. Durch das Eindringen der äußeren Luft war die verdünnt gewesene Luft im Inneren des Ballons zusammengedrückt und in Folge dessen auch etwas erwärmt worden; wenn man also den Apparat sich selbst überläßt, so wird die durch Compression der Luft frei gewordene Wärme sich allmälig verlieren, und in Folge dessen wird die Wassersäule in d von Neuem steigen. Als der Apparat bis auf die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet war, betrug die Höhe der Wassersäule in d 49^{mm}. Die Temperaturerhöhung t', welche durch die Compression hervorgebracht wird, verhält sich aber zu der Temperaturerhöhung $t + t'$, welche nöthig wäre, um die Luft im Ballon bei unverändertem Drucke durch Erwärmen so viel zu verdünnen, als es durch die Luftpumpe geschehen war, sehr nahe wie die Druckhöhen 49 und 188; wenn wir also $t' = 49$ und $t + t' = 188$ setzen, so ist $t = 139$, folglich

Fig. 560.



$\frac{1}{15} - \frac{1}{20}$

$$\frac{c}{c'} = \frac{188}{139} = 1{,}35.$$

Dieses Verfahren kann offenbar nur ein angenähert richtiges Resultat liefern, weil auch durch die Gefäßwände eine merkliche Wärmemenge weggenommen wird.

Durch Betrachtungen, die wir hier unmöglich weiter verfolgen können, hat Dulong aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in der Luft für diesen Quotienten den Werth 1,421 abgeleitet.

Viertes Capitel.

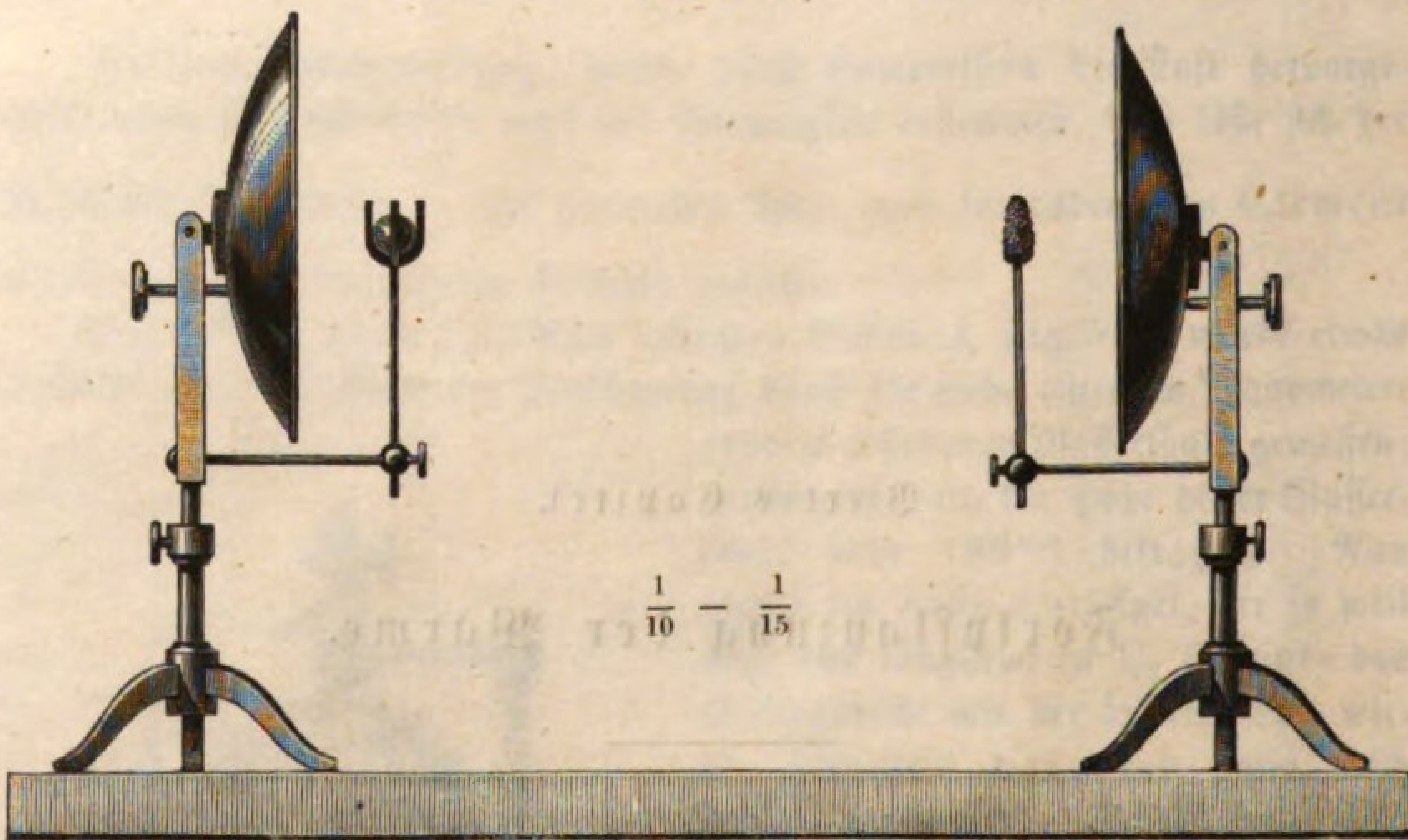
Fortpflanzung der Wärme.

Existenz der strahlenden Wärme. Die strahlende Wärme durchdringt gewisse Körper in derselben Weise, wie das Licht durch die durchsichtigen Körper hindurchgeht; die Sonnenstrahlen z. B. treffen unsere Erde, nachdem sie die ganze Atmosphäre durchdrungen haben, sie erwärmen die Erdoberfläche, während die höheren Regionen der Luft kalt bleiben; die Wärmestrahlen gehen also größtentheils durch die Atmosphäre hindurch, ohne von ihr absorbirt zu werden. Wenn man sich dem Feuer eines Ofens nähert, so empfindet man eine brennende Hitze, und doch ist die Luft zwischen uns und dem Feuer nicht bis zu einem solchen Grade erwärmt, denn wenn man einen Schirm vorhält, verschwindet diese Hitze augenblicklich, was unmöglich wäre, wenn wirklich die ganze uns umgebende Luftmasse eine so hohe Temperatur hätte. Heiße Körper können also nach allen Seiten hin Wärme aussenden, welche durch die Luft hindurchgeht, wie die Lichtstrahlen durch durchsichtige Körper; man spricht deshalb von strahlender Wärme und von Wärmestrahlen, wie man von Lichtstrahlen spricht. 223

Wenn man zwei große spärische oder parabolische Hohlspiegel (Fig. 561 a. f. S.) von polirtem Messingblech, 5 bis 6 Meter von einander entfernt, so aufstellt, daß die Axen beider Spiegel in eine Linie zusammenfallen, wenn man alsdann in den Brennpunkt des einen Spiegels ein Stück Zunder, in den Brennpunkt des anderen aber eine fast weißglühende Eisenkugel oder glühende Kohlen bringt, deren Verbrennung man durch einen Blasebalg lebhaft unterhält, so wird sich der Zunder alsbald entzünden, als ob er mit dem Feuer in Berührung wäre. Dieser Versuch zeigt, daß der glühende Körper Wärmestrahlen aussendet; denn es ist klar, daß der Zunder nicht etwa dadurch angezündet wird, daß die zwischenliegenden Luftschichten allmälig so stark erhitzt worden sind. Bringt

man den Zunder aus dem Brennpunkte weg, so wird er nicht mehr entzündet, wenn man ihn auch dem glühenden Körper weit näher bringt.

Fig. 561.



Bringt man an die Stelle der glühenden Kugel eine Kugel von 300° und an die Stelle des Zunders ein gewöhnliches Thermometer, so wird das Thermometer rasch steigen; also auch die Kugel von 300° sendet Wärmestrahlen aus.

Wenn man die 300° heiße Kugel mit einem Gefäße voll kochenden Wassers oder mit Wasser von 90°, 80° oder 70° vertauscht, so beobachtet man vielleicht gar keine Temperaturerhöhung mehr am Thermometer; dies beweist aber noch nicht, daß die Wände des Gefäßes bei dieser Temperatur keine Wärme mehr ausstrahlen, sondern nur, daß hier das gewöhnliche Thermometer nicht empfindlich genug ist. Man muß deshalb empfindlichere Instrumente zu Hülfe nehmen, etwa Rumford's oder Leslie's Differentialthermometer oder Melloni's Thermomultiplicator.

Rumford's Differentialthermometer, Fig. 562, besteht aus zwei Glaskugeln, *a* und *b*, welche durch eine gebogene Glasröhre, deren horizontaler Theil 5 bis 6 Decimeter lang ist, verbunden sind. In dieser Röhre befindet sich ein Index von Alkohol oder Schwefelsäure, auf welchen von beiden Seiten die Luft der Kugel drückt; er wird also nur dann an einer bestimmten Stelle stehen bleiben, wenn der Druck von beiden Seiten gleich ist. Die Stelle, welche der Index einnimmt, wenn die Temperatur beider Kugeln vollkommen gleich ist, ist der Nullpunkt der Theilung. Wird nun die eine Kugel mehr erwärmt als die andere, so wird der Index gegen die kältere Kugel hingetrieben, und seine Entfernung von dem Nullpunkte ist der Temperaturdifferenz der beiden Kugeln proportional.

Leslie's Differentialthermometer, Fig. 563, ist auf ähnliche Weise construirt, nur sind die verticalen Arme der sie verbindenden Röhre länger und stehen einander näher.

Fig 562.

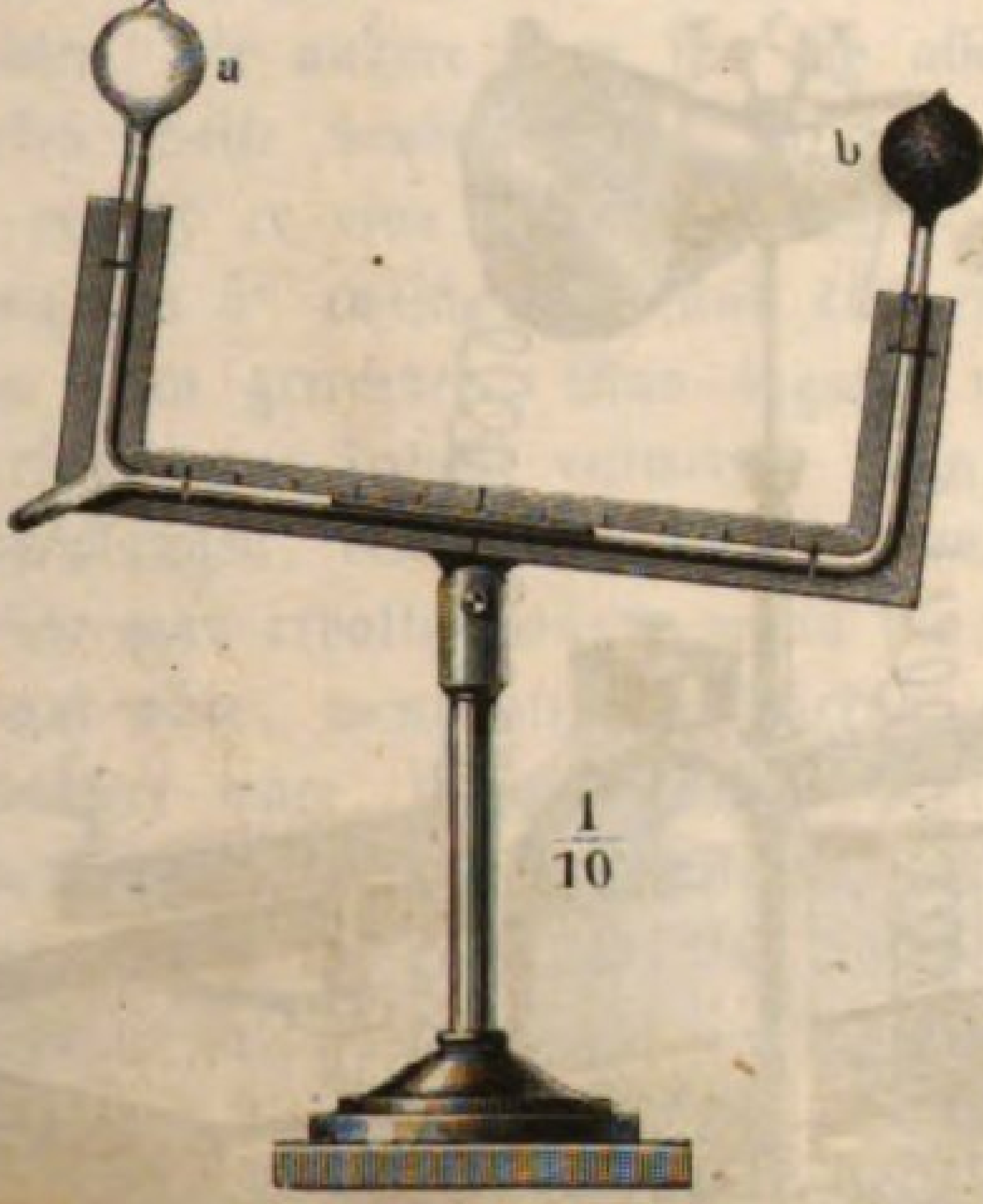
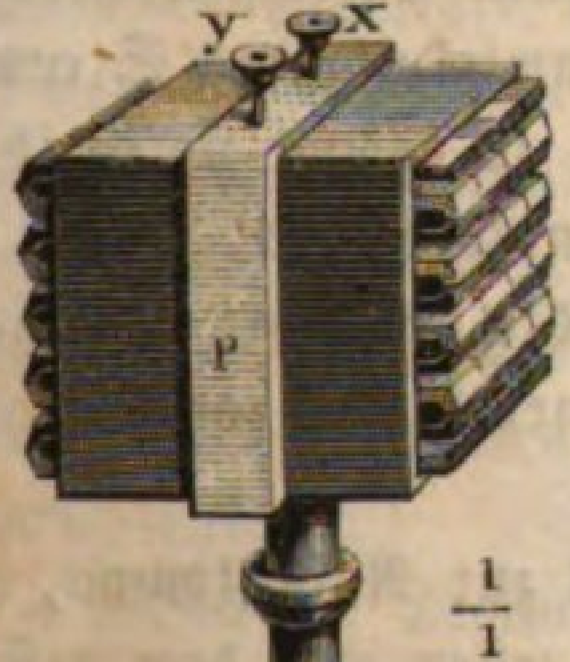


Fig. 563.



Melloni's Thermomultiplicator besteht aus einer thermoelektrischen Säule, Fig. 564, wie sie schon früher (S. 369) beschrieben wurde, und aus einem sehr empfindlichen Multiplicator. Die Säule ist sorgfältig an beiden Enden mit Ruß geschwärzt und mit ihrer Fassung bei *p*, welche bei einigen Instrumenten viereckig ist, wie Fig. 564, bei anderen rund, wie Fig. 565, auf ein Stativ gebracht. Die Hülsen *a* und *b*, Fig. 565, dienen dazu, die Luftströmungen und die Seitenstrahlungen von der Säule abzuhalten; da die Hülse *b* conisch ist, so dient sie auch, um von dieser Seite her die Wärmestrahlen mehr zu concentriren, wenn es nöthig ist. Der zu dieser Thermosäule gehörige Multiplicator *M*, Fig. 565, hat natürlich eine astatische Nadel. Der nicht gar zu dünne Kupferdraht desselben, welcher eine Gesammtlänge von 7 bis 8 Metern hat, bildet ungefähr 40 Windungen.

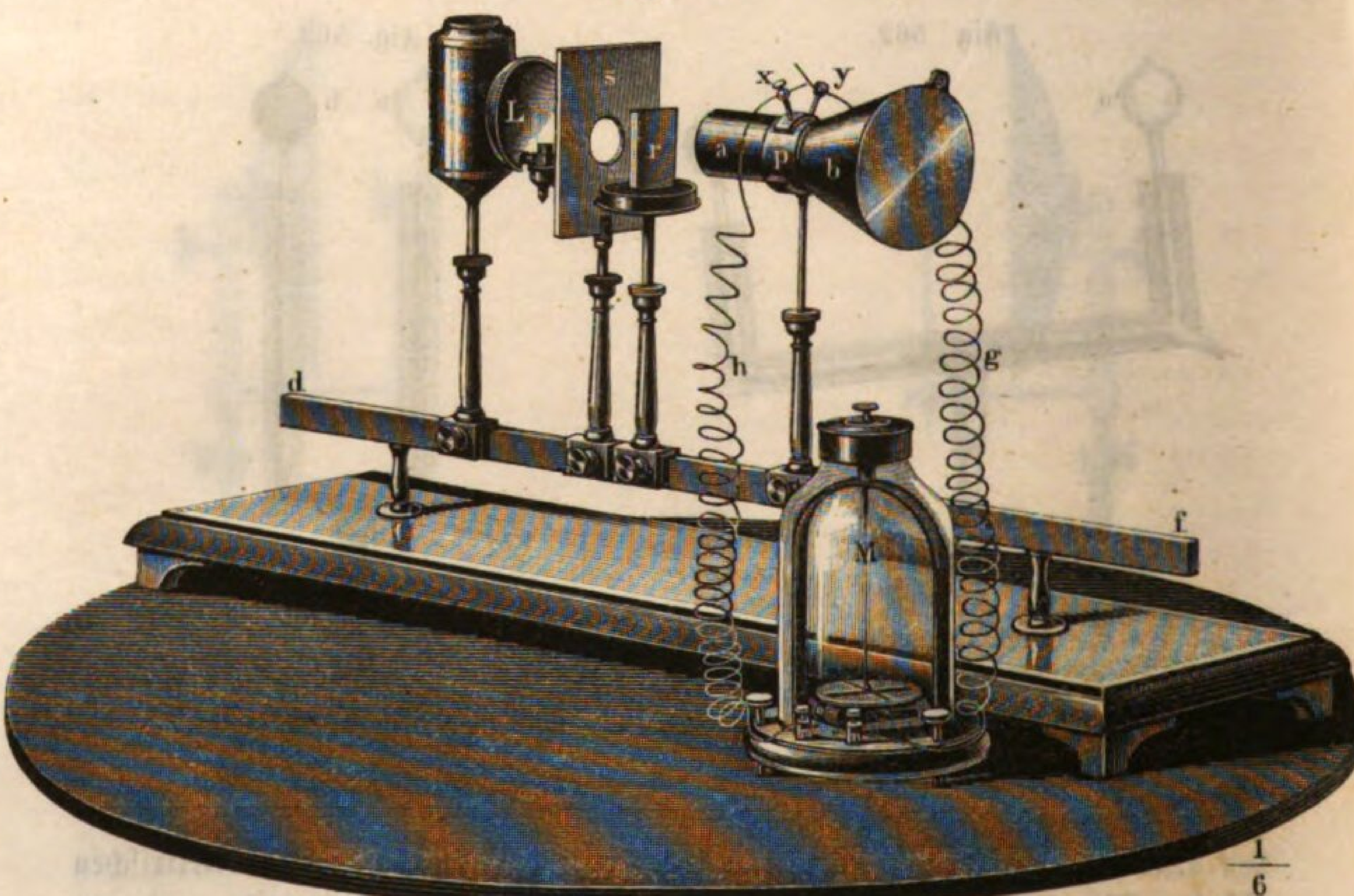
Fig. 564.



Um die Verbindung zwischen der thermoelektrischen Säule und dem Multiplicator herzustellen, dienen die leicht ausdehnbaren Drahtspiralen *g* und *h*, welche bei *x* und *y* mit den beiden Enden der thermoelektrischen Säule, bei *m* und *n* mit den Enden des Multiplicatordrahtes in leitender Verbindung stehen. Die geringste Temperaturdifferenz zwischen den beiden geschwärzten Enden der Säule bewirkt nun schon eine Ablenkung der Nadel, die man auf dem getheilten Kreise ablesen kann.

Man muß hier wohl den anfänglichen Ausschlag von dem eigentlichen Ausschlagswinkel, d. h. von dem Winkel unterscheiden, welchen die Nadel mit

Fig. 565.



dem magnetischen Meridian macht, wenn sie in ihrer neuen Gleichgewichtslage zur Ruhe gekommen ist. Wenn die Nadel durch die Einwirkung des Stromes aus dem magnetischen Meridiane herausgetrieben wird, so kommt sie in ihrer neuen Gleichgewichtslage mit einer bestimmten Geschwindigkeit an, welche sie noch weiter forttreibt; auf dem Rückwege geht die Nadel abermals über ihre Gleichgewichtslage hinaus, und so kommt sie erst nach einer Reihe von Schwingungen, welche immer kleiner werden, zur Ruhe.

Um nicht immer warten zu müssen, bis die Nadel zur Ruhe kommt, hat Melloni durch Versuche das Verhältniß zwischen dem ersten und dem definitiven Ausschlage zu ermitteln gesucht, d. h. er bestimmte durch Versuche, wie groß der definitive Ausschlag ist, welcher einem jeden anfänglichen Ausschlage entspricht. Die Kenntniß dieses Verhältnisses, welches natürlich für jeden Apparat besonders ermittelt werden muß, bietet den großen Vortheil, daß ein jeder Versuch nur 10 bis 12 Secunden dauert, während er mehrere Minuten dauern würde, wenn man warten müßte, bis die Nadel zur Ruhe gekommen ist.

Die Beziehung, welche zwischen der Ablenkung der Nadel und der Temperaturdifferenz der Löthstellen der Säule stattfindet, läßt sich zwar nicht auf eine absolute, aber doch auf eine relative Weise ermitteln. Nachdem Melloni gezeigt hatte, daß die Stromstärke einer Säule von Wismuth und Antimon der Temperaturdifferenz der Löthstellen proportional ist, kam es darauf an, zu

ermitteln, in welchem Verhältnisse die Ablenkung der Nadel zur Stromstärke steht. Zu diesem Zwecke brachte Melloni auf jeder Seite der Säule eine constante Wärmequelle, etwa eine Locatelli'sche Lampe *L*, eine kleine Oellampe mit quadratischem Docht, in solcher Entfernung an, daß die eine, für sich allein wirkend, eine Ablenkung von etwa 40° nach der rechten, die andere aber für sich allein eine Ablenkung von 35° nach der linken Seite bewirkte; ließ er nun beide Wärmequellen gleichzeitig wirken, so erhielt er eine Ablenkung von 15° nach der rechten Seite. Eine Ablenkung von 5° zwischen 35 und 40° entspricht also einer Ablenkung von 15°, von 0 an gerechnet. Man begreift nun, wie man durch Abänderung dieser Versuche eine Tabelle entwerfen kann, deren erste Columne die beobachteten Ablenkungen, die zweite aber die entsprechende Anzahl von Graden enthält, welche man erhalten würde, wenn die Ablenkung stets der Stromstärke proportional wäre, wenn also die Wirkung des Stromes auf die Nadel nicht um so schwächer wäre, je mehr sie abgelenkt ist. Für den Apparat, mit welchem Melloni seine Versuche anstellte, waren die Zahlen in beiden Columnen bis 20° ganz gleich, d. h. bis 20° war die Ablenkung der Nadel der Stromstärke proportional; den beobachteten Ablenkungen 25, 30, 35, 40 und 45° entsprachen aber die Werthe 27, 35, 47, 62 und 83° der zweiten Columne. Ein Strom also, welcher eine Ablenkung von 40° bewirkt, ist 62mal stärker als ein anderer, welcher nur eine Ablenkung von 1° hervorbringt. Melloni hat jedoch seine Versuche so eingerichtet, daß die Ablenkungen stets kleiner als 30° waren.

Kehren wir nun wieder zu unseren Versuchen zurück; wenn man in den Brennpunkt des einen Hohlspiegels, Fig. 561, Seite 636, einen der eben beschriebenen Apparate, in den Brennpunkt des anderen aber irgend einen Körper von 1 bis 2 Centimeter Durchmesser bringt, so wird sich zeigen, daß dieser stets Wärme ausstrahlt, sobald seine Temperatur nur etwas die Temperatur der Umgebung übersteigt. Wenn man den Versuch in einem Zimmer anstellt, dessen Temperatur unter 0° ist, so wird ein Stück schmelzenden Eises, in den Brennpunkt des einen Spiegels gebracht, die Temperatur im anderen Brennpunkte erhöhen.

Wenn die Temperatur der Umgebung über 0° ist, so wird ein Stück Eis, in den Brennpunkt des einen Hohlspiegels gebracht, das Sinken eines Thermometers veranlassen, welches sich im Brennpunkte des anderen Hohlspiegels befindet. Dies beweist aber nicht, daß eine Kältestrahlung stattfindet, das Thermometer sinkt, weil es mehr Wärme nach dem Eise ausstrahlt, als es von dem Eise zurückempfängt.

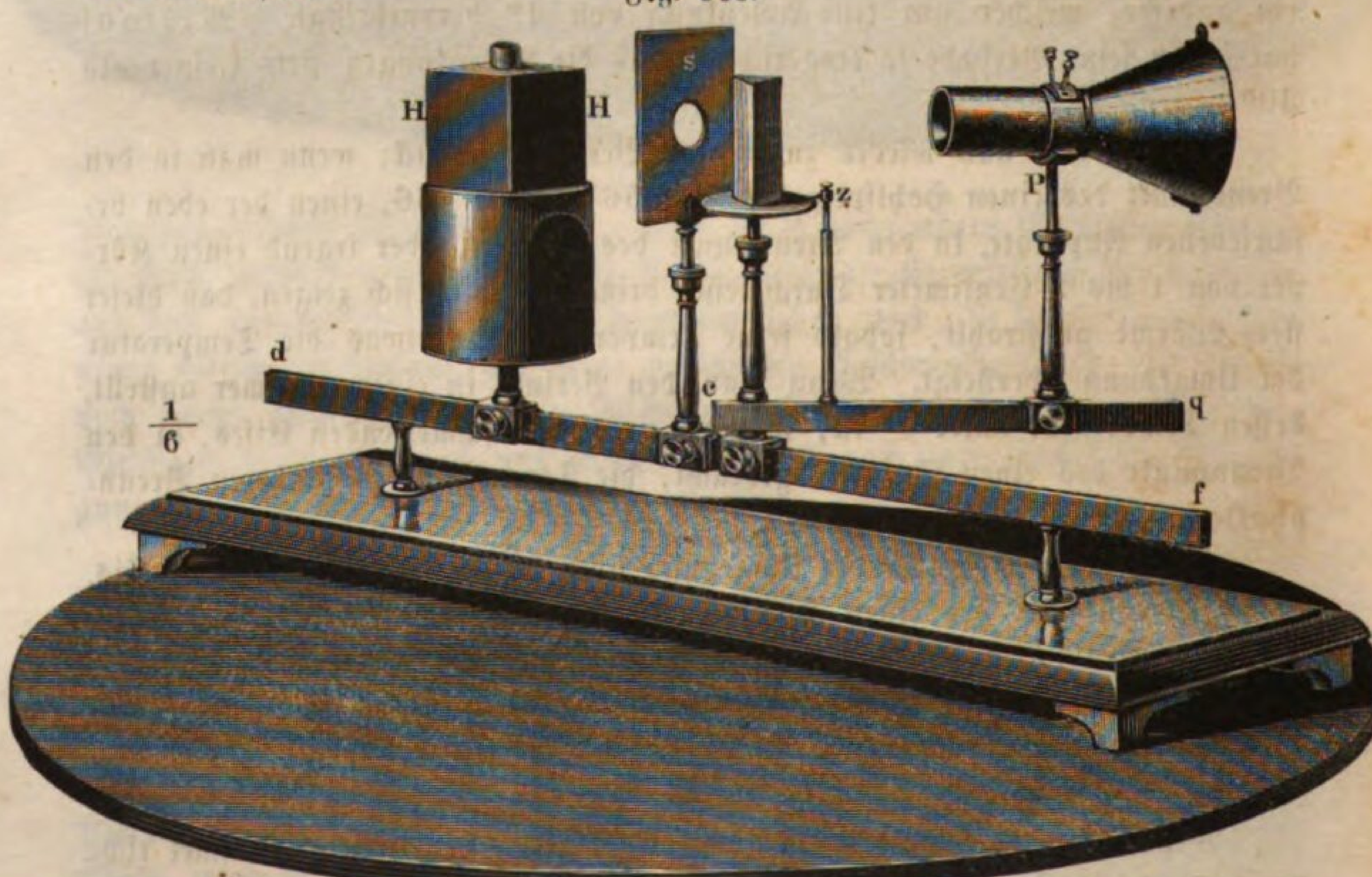
Wenn man des Nachts einen Hohlspiegel gegen den heiteren Himmel richtet, so wird ein Thermometer, welches im Brennpunkte dieses Hohlspiegels sich befindet, sinken müssen, weil es seine Wärme nach dem freien Himmelsraume ausstrahlt, ohne daß von dorther sein Wärmeverlust ersetzt wird.

Wenn man Melloni's Thermomultiplicator anwendet, so hat man gar keine Hohlspiegel mehr nöthig, um die Wärmestrahlung nachzuweisen,

man braucht nur an dem einen Ende der thermoelektrischen Säule die conische Hülse *b* anzusetzen, welche die Wärmestrahlen etwas concentrirt; wenn man in einer Entfernung von mehreren Schritten die Hand gegen die Oeffnung der Hülse *b* hält, so ist die von ihr ausgehende Wärmestrahlung schon hinreichend, um die Nadel bedeutend abzulenken.

224 **Wärmestrahlungsvermögen der Körper.** Das Vermögen der Körper, die Wärme auszustrahlen, ist sehr ungleich und hängt wesentlich von dem Zustande der Oberfläche ab; im Allgemeinen strahlen die Oberflächen der weniger dichten Körper unter sonst gleichen Umständen mehr Wärme aus als die Oberflächen dichter Körper. Die Ungleichheit des Strahlungsvermögens verschiedener Oberflächen hat Leslie folgendermaßen nachgewiesen: Er brachte in den Brennpunkt eines Hohlspiegels die eine Kugel seines Differentialthermometers und stellte in einiger Entfernung in der Axe des Hohlspiegels einen hohlen mit heißem Wasser gefüllten Würfel von Messingblech auf, dessen Seite 15 bis 18 Centimeter lang war; die eine Seitenfläche dieses Würfels war mit Ruß überzogen, eine andere polirt; wurde nun die polirte Fläche dem Spiegel zugekehrt, so war die Wirkung auf das Differentialthermometer bei weitem geringer, als wenn man die berußte Fläche dem Spiegel zukehrte; die mit Ruß geschwärzte Fläche strahlt also weit mehr Wärme aus als die polirte Metallfläche.

Fig. 566.



Diese Methode ist zwar ganz geeignet, um die Unterschiede im Strahlungsvermögen sichtbar zu machen; um aber genauere Vergleichungen anzustellen, ist Melloni's Verfahren bei weitem vorzüglicher. An die Stelle der Locatelli'schen Lampe *L*, Fig. 565, wurde ein Hohlwürfel von Messingblech

gebracht, dessen Seitenlänge 7 bis 8 Centimeter beträgt und welcher mit heißem, durch eine Weingeistlampe auf constanter Temperatur gehaltenem Wasser ungefähr zu $^3/_4$ gefüllt ist. Die Aufstellung dieses Würfels kann man aus Fig. 566 ersehen, wo derselbe mit H bezeichnet ist; er steht auf einer cylindrischen Hülse von Messingblech, welche zur Aufnahme der Weingeistlampe dient und deren obere Fläche bis auf einen ringförmigen Rand durchbrochen ist, so daß die Flamme der Weingeistlampe den Boden des Würfels bespülen kann. Die Thermosäule wird dann nach Entfernung aller Zwischenapparate in der Art aufgestellt, wie Fig. 565 zeigt und zwar so, daß die Mitte des Würfels und die Mitte der Thermosäule in gleicher Höhe liegen. Die Seitenflächen des Würfels waren auf verschiedene Weise präparirt, nämlich eine mit Ruß, eine mit Bleiweiß, eine mit Tusch überzogen und eine polirt. Je nachdem die eine oder die andere Seitenfläche der Thermosäule zugekehrt ist, sind die Ablenkungen der Nadel sehr ungleich; aus den beobachteten Ablenkungen ergiebt sich dann ohne Weiteres das Verhältniß, in welchem die Emissionsfähigkeit der verschiedenen Flächen zu einander steht. Auf diese Weise wurde das Ausstrahlungsvermögen folgender Körper bestimmt:

Kienruß	100	Tusch	85
Bleiweiß	100	Gummilack	72
Hausenblase	91	Metallfläche	12.

Wenn man also mit 100 das Ausstrahlungsvermögen des Kienrußes bezeichnet, so ist das Ausstrahlungsvermögen einer polirten Metallfläche gleich 12, also nur $\frac{12}{100}$ von dem der Kienrußfläche.

Melloni hat gezeigt, daß das Strahlungsvermögen eines und desselben Metalls von seiner Dichtigkeit abhängt; denn eine gegossene Platte strahlt mehr Wärme aus, als eine gehämmerte und gewalzte. Wenn man die Oberfläche einer gehämmerten polirten Metallplatte ritzt, so wird ihr Strahlungsvermögen erhöht, weil durch das Ritzen weniger dichte Stellen bloßgelegt werden; eine solche Erhöhung des Strahlungsvermögens durch Ritzen tritt bei gegossenen und ohne Druck polirten Metallplatten nicht ein, ja bei solchen wird sogar das Strahlungsvermögen etwas vermindert, weil beim Ritzen immer ein geringer Druck ausgeübt, also die Dichtigkeit an einigen Stellen des Metalls etwas vergrößert wird.

Bei solchen Körpern, deren Dichtigkeit durch Druck nicht geändert werden kann, wie Marmor, Glas u. s. w., hat das Ritzen der Oberfläche gar keinen Einfluß auf das Strahlungsvermögen.

Nachdem wir das Emissionsvermögen der Körper betrachtet haben, ist zu untersuchen, was aus den Wärmestrahlen wird, welche irgend einen Körper treffen; es sind hier nur folgende Fälle möglich: entweder werden die Wärmestrahlen absorbirt, oder sie werden an seiner Oberfläche zurückgeworfen, oder sie werden durchgelassen. Wir wollen nun diese einzelnen Fälle der Reihe nach betrachten.

225 **Absorption der Wärmestrahlen.** Jeder Körper hat das Vermögen, Wärmestrahlen, die, von einem anderen Körper kommend, ihn treffen, mehr oder weniger zu absorbiren; dies ergiebt sich schon aus den oben besprochenen Versuchen, denn die Körper erwärmen sich in dem Brennpunkte des einen Hohlspiegels, Fig. 561, nur deshalb, weil sie die durch die Spiegel auf ihnen concentrirten Wärmestrahlen absorbiren. Daß dies Vermögen aber allen Körpern zukommt, ergiebt sich daraus, daß alle, den Sonnenstrahlen ausgesetzt, eine Temperatur annehmen, welche höher ist als die Temperatur der Luft.

Das Absorptionsvermögen ist nicht für alle Körper gleich, was schon daraus hervorgeht, daß sie nicht gleiches Emissionsvermögen haben; denn eine Oberfläche, welche leicht Wärmestrahlen aussendet, muß umgekehrt auch die Fähigkeit haben, diese Strahlen einzusaugen. Die Ungleichheit des Absorptionsvermögens läßt sich schon durch einen einfachen Versuch zeigen: Man setze nur ein Thermometer, dessen Kugel geschwärzt ist, den Sonnenstrahlen aus, so wird es weit höher steigen als ein anderes, dessen Kugel nicht geschwärzt ist; die geschwärzte Oberfläche der einen Thermometerkugel absorbirt also offenbar mehr Wärmestrahlen als die glänzende Oberfläche der anderen.

Die von einem Körper absorbirten Wärmestrahlen sind es also, welche ihn erwärmen; wenn demnach ein Körper durch Wärmestrahlung möglichst stark erwärmt werden soll, so muß man ihn mit einem Ueberzuge versehen, welcher die Wärmestrahlen stark absorbirt; man überzieht deshalb auch alle Thermoskope, welche dazu dienen sollen, die Wirkungen der Wärmestrahlen recht deutlich zu machen, die Kugeln der Differentialthermometer, die beiden Enden der thermoelektrischen Säule u. s. w. mit Ruß, weil dieser unter allen bekannten Körpern das stärkste Absorptionsvermögen hat.

Wir haben oben gesehen, daß metallische Oberflächen nur ein sehr geringes Emissionsvermögen besitzen, und daraus folgt, daß sie die Wärmestrahlen auch nur in einem sehr geringen Maße einzusaugen im Stande sind.

Weiter unten, wenn wir die ungleiche Natur der verschiedenen Wärmestrahlen werden kennen gelernt haben, wird von dem Absorptionsvermögen noch ausführlicher die Rede sein.

226 **Reflexion und Diffusion der Wärmestrahlen.** Im Allgemeinen haben die Körper die Fähigkeit, einen Theil der sie treffenden Wärmestrahlen ganz in der Weise zurückzuwerfen, wie sie auch die Lichtstrahlen regelmäßig oder unregelmäßig reflectiren. Die Hohlspiegel, die uns zu den obigen Versuchen dienten, geben uns einen entscheidenden Beweis für die Reflexion der Wärmestrahlen; denn sie erwärmen sich selbst bei dem Versuche mit Zunder nicht. Ein einfacher Schluß überzeugt uns, daß die meisten Körper dieses Reflexionsvermögen besitzen müssen und daß es dem Absorptionsvermögen so zu sagen complementär ist; denn die Summe der absorbirten und der reflectirten Wärmestrahlen muß doch offenbar der Gesammtheit der einfallenden Strahlen gleich sein, vorausgesetzt, daß der Körper keine Wärmestrahlen durchläßt. Wenn also das Reflexionsvermögen größer ist, so ist das Absorptionsvermögen geringer,

und umgekehrt. Ein Körper, der gar keine Wärmestrahlen reflectirt, muß alle Strahlen absorbiren, wie dies in der That bei solchen Oberflächen der Fall ist, die man sorgfältig mit Ruß überzogen hat; polirte Metallflächen dagegen, welche ein großes Reflexionsvermögen besitzen, absorbiren nur sehr wenig Wärmestrahlen.

Die Wärmestrahlen werden ganz nach denselben Gesetzen reflectirt wie die Lichtstrahlen, d. h. der Reflexionswinkel ist dem Einfallswinkel gleich; dies geht schon aus den Versuchen mit den Hohlspiegeln hervor, da ja die Brennpunkte für die Wärmestrahlen mit denen der Lichtstrahlen zusammenfallen.

So wie an der Oberfläche eines nicht ganz vollständig polirten Körpers Lichtstrahlen nach allen Seiten unregelmäßig zerstreut werden, so erleiden auch die Wärmestrahlen an der Oberfläche der meisten Körper eine Diffusion. Man kann sich davon durch folgenden Versuch überzeugen. Man lasse durch eine Oeffnung in dem Laden eines dunkeln Zimmers Sonnenstrahlen auf eine der Oeffnung gegenüberliegende Wand fallen, so wird der erleuchtete Fleck derselben, welcher von allen Seiten her sichtbar ist, weil er das Sonnenlicht nach allen Seiten hin zerstreut, auch die Wärmestrahlen unregelmäßig zerstreuen, also nach allen Seiten hin Wärmestrahlen aussenden, als ob er selbst eine Wärmequelle wäre. Diese Diffusion der Wärmestrahlen wird sichtbar, wenn man dem hellen Flecke die thermo-elektrische Säule zukehrt; man erhält einen Ausschlag der Nadel, an welcher Stelle des Zimmers man auch das Instrument aufstellen mag; die Wirkung kann also nicht von einer regelmäßigen Reflexion herrühren; daß sie aber auch nicht die Folge einer Erwärmung der von den Sonnenstrahlen beschienenen Stelle der Wand ist, geht daraus hervor, daß die Nadel auf der Stelle wieder auf den Nullpunkt der Theilung zurückgeht, sobald man die Oeffnung im Laden verschließt.

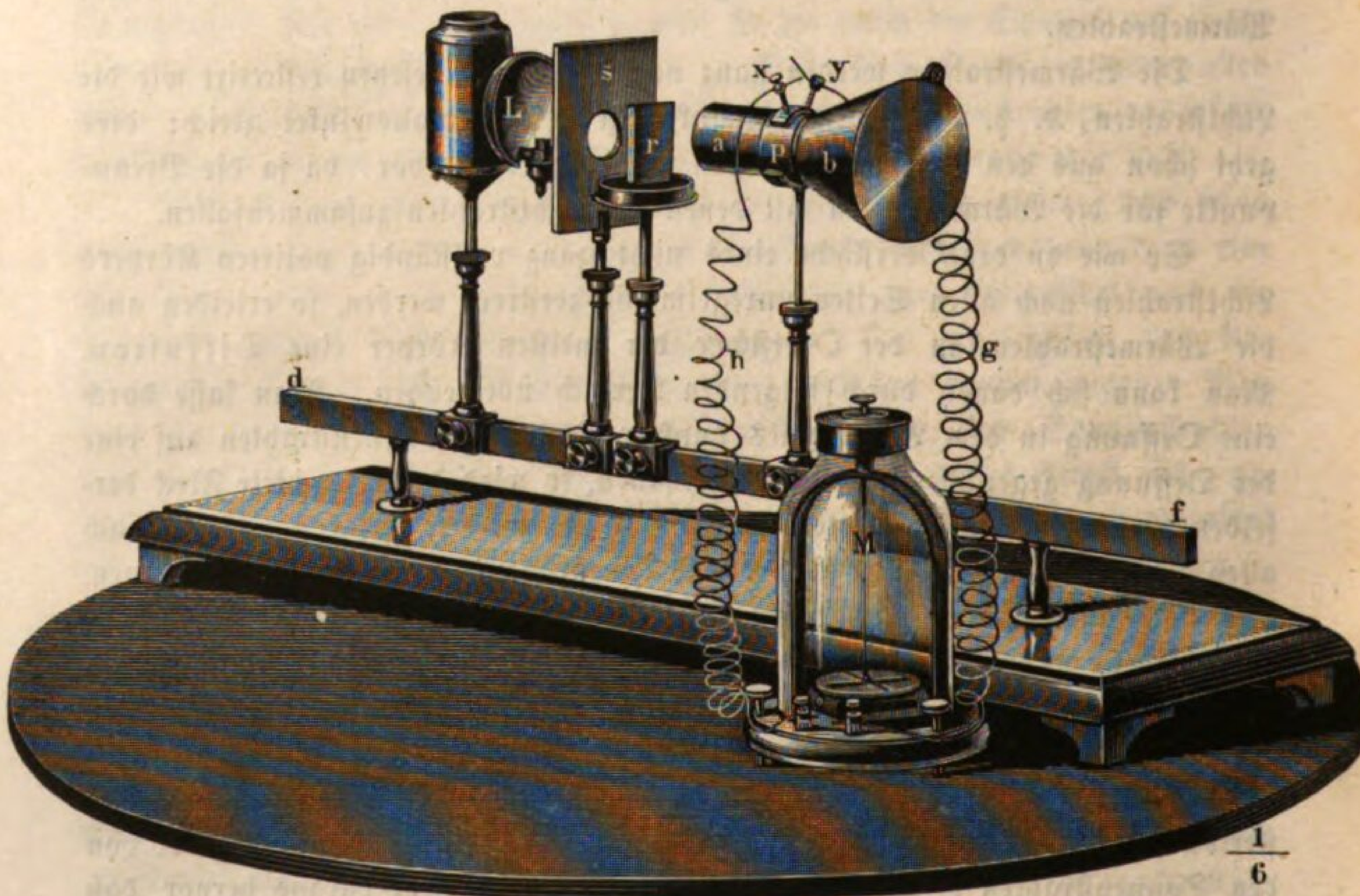
Auch von der Diffusion der Wärmestrahlen wird weiter unten noch ausführlicher die Rede sein.

Fähigkeit der Körper, Wärmestrahlen durchzulassen. Daß 227
feste Körper Wärmestrahlen in derselben Weise durchlassen können, wie durchsichtige Körper die Lichtstrahlen, geht schon daraus hervor, daß man im Stande ist, brennbare Körper zu entzünden, wenn man sie in den Brennpunkt einer den Sonnenstrahlen ausgesetzten Linse hält. Genauere Untersuchungen wurden erst durch die thermo-elektrische Säule möglich, und Melloni hat mit Hülfe derselben eine Reihe höchst wichtiger Untersuchungen über den Durchgang der Wärmestrahlen durch verschiedene Körper angestellt.

Diejenigen Körper, welche die Wärmestrahlen aufhalten, wie die undurchsichtigen Körper die Lichtstrahlen, nennt Melloni atherman; solche Körper hingegen, welche sich gegen die Wärmestrahlen verhalten, wie die durchsichtigen Körper gegen die Lichtstrahlen, nennt er diatherman. Die Luft ist also ein diathermaner Körper, und wir werden sogleich sehen, daß auch sehr viele feste und flüssige Körper, wenn auch in sehr ungleichem Maße, diatherman sind.

Die Versuche über den Durchgang der Wärmestrahlen wurden mit dem schon oben beschriebenen Apparate, Fig. 567, angestellt, welcher in der

Fig. 567.



Figur gerade so abgebildet ist wie er zu diesen Versuchen zusammengestellt werden muß; als Wärmequellen dienten entweder die Locatelli'sche Lampe *L*, oder eine Spirale von Platindraht, welche durch eine Alkoholflamme rothglühend erhalten wurde, oder ein geschwärztes, in Fig. 568 von der Rückseite gezeichnetes Kupferblech, welches durch eine Weingeistlampe auf 400° erwärmt war, oder endlich der schon besprochene, mit heißem Wasser gefüllte Hohlwürfel *H*. Diese constanten Wärmequellen wurden der Reihe nach auf die Schiene *df* Fig. 567 gesetzt. Zwischen der Wärmequelle und der Thermosäule wurde dann zunächst ein Schirm *s* mit einer Oeffnung angebracht, welche nur ein begränztes Strahlenbündel auf die Thermosäule fallen läßt, und hinter dieser Oeffnung dann eine Platte *r* von der zu untersuchenden Substanz aufgestellt.

Fig. 568.



Die Versuche werden in folgender Weise angestellt: Die Wärmequelle wurde in eine solche Entfernung gebracht, daß sie ohne Zwischenplatte eine Ablenkung der Nadel bis auf 30° hervorbrachte;

wurden nun die Wärmestrahlen durch eine bei *r* aufgestellte Platte des zu untersuchenden Körpers aufgefangen, so ging die Nadel bald mehr, bald weniger zurück, und so ergab sich, daß gleich dicke und gleich durchsichtige Platten verschiedener Körper nicht gleiche Mengen strahlender Wärme durchlassen. Bewirkt z. B. die freie Strahlung der Wärmequelle eine Ablenkung von 30°, so wird die Nadel auf 28° zurückgehen, wenn man eine 3 bis 4 Millimeter dicke Steinsalzplatte bei *r* aufstellt, während eine gleich dicke Quarzplatte die Nadel auf 15 bis 16° zurückgehen macht; das Steinsalz läßt also die Wärmestrahlen bei weitem besser durch als der Bergkrystall. Manche weniger durchsichtige Körper lassen sogar die Wärmestrahlen besser durch als andere, die ganz durchsichtig sind. Während z. B. eine ganz durchsichtige Alaunplatte die Ablenkung der Nadel von 30° auf 3 bis 4° reducirt, bringt eine noch weit dickere Platte von Rauchtopas die Nadel nur auf 14 bis 15° zurück. Ja mancher fast ganz undurchsichtige Körper, wie schwarzes Glas und schwarzer Glimmer, lassen noch ziemlich viel Wärmestrahlen durch.

Aus den beobachteten Ablenkungen ergeben sich folgende Werthe für die Fähigkeit verschiedener Körper, die Wärmestrahlen durchzulassen.

Namen der Körper.	Locatelli'sche Lampe.	Glühende Platinspirale.	Geschwärztes bis zu 400° erwärmtes Messingblech.	Geschwärztes bis zu 100° erwärmtes Messingblech.
Freie Strahlung der Wärmequelle	100	100	100	100
Steinsalz	92	92	92	92
Flußspath, klar, farblos	78	69	42	33
Kalkspath	39	28	6	0
Spiegelglas	39	24	6	0
Bergkrystall	38	28	6	0
Gyps, krystallisirt	14	5	0	0
Citronensäure	11	2	0	0
Alaun	9	2	0	0
Schwarzes Glas, 1mm dick . . .	26	25	12	0
Schwarzer Glimmer, 0,9mm dick .	20	20	9	0
Eis	6	0	0	0

Wo die Dicke der Platte nicht bemerkt ist, betrug sie 2,6 Millimeter.

Die Betrachtung dieser Tabelle führt uns zu sehr wichtigen Folgerungen. Wir sehen, daß das Steinsalz die Strahlen aller Wärmequellen mit gleicher Leichtigkeit durchläßt, was bei allen anderen angeführten Substanzen nicht der Fall ist. Wir sehen z. B., daß eine Flußspathplatte 78 Procent der Strahlen

durchläßt, welche von der Locatelli'schen Lampe kommen, aber nur 33 Procent der Wärmestrahlen, welche von einer berußten, bis zu 100° erwärmten Metallfläche ausgestrahlt werden. Das schwarze Glas läßt die Wärmestrahlen der Locatelli'schen Lampe und der glühenden Platinspirale fast gleich gut durch, von der ersteren Quelle nämlich 26, von der zweiten 25 Procent; es läßt gar keine der Wärmestrahlen durch, welche von der vierten, und nur 12 Procent der Strahlen, welche von der dritten Wärmequelle kommen.

Daraus geht hervor, daß die Wärmestrahlen, welche von den verschiedenen Wärmequellen kommen, nicht ganz gleicher Natur sind; denn sonst müßte jeder Körper die Strahlen aller Wärmequellen in gleichem Verhältnisse durchlassen. Dieser Unterschied in der Natur der Wärmestrahlen tritt aber noch deutlicher hervor, wenn man die Wärmestrahlen durch mehrere hinter einander aufgestellte Körper gehen läßt.

Läßt man die Wärmestrahlen, welche durch eine Glasplatte gegangen sind, auf eine Alaunplatte fallen, so werden sie gänzlich absorbirt, während doch eine Alaunplatte fast alle Wärmestrahlen durchläßt, welche zuvor durch eine Platte von Citronensäure gegangen sind. Diese Erscheinung hat die größte Aehnlichkeit mit dem Durchgange des Lichts durch gefärbte Mittel; Lichtstrahlen, welche durch ein grünes Glas gegangen sind, werden bekanntlich von anderen grünen Gläsern leicht durchgelassen; sie werden aber absorbirt, wenn man sie auf ein rothes Glas fallen läßt; die Unterschiede zwischen den Wärmestrahlen sind also den Verschiedenheiten der Farben beim Lichte ganz analog.

Melloni nannte die Eigenschaft der Körper, gewisse Wärmestrahlen vorzugsweise zu absorbiren, andere hingegen vorzugsweise durchzulassen, Diathermansie; man könnte diese Eigenschaft, nach Pouillet's Vorschlage, auch Thermanismus, die Körper aber, welchen sie zukommt, thermanisirende nennen. Thermanisirte Wärmestrahlen wären demnach solche, welchen dadurch, daß sie einen thermanisirenden Körper durchdrungen haben, gleichsam eine Wärmefärbung erhalten haben, wie den Lichtstrahlen, indem sie durch farbige Gläser gehen, eine bestimmte Farbe ertheilt wird. Das Steinsalz ist der einzige bis jetzt bekannte feste diathermane Körper, welcher die Wärmestrahlen nicht thermanisirt, denn das Steinsalz läßt ja alle Wärmestrahlen gleich gut durch, es verhält sich gegen die Wärmestrahlen wie ein farbloser durchsichtiger Körper gegen das Licht.

Wenn man mit 100 die Intensität der Wärmestrahlen bezeichnet, welche auf eine Steinsalzplatte fallen, so ist die Intensität der durchgelassenen Strahlen nach unserer Tabelle 92, oder genauer 92,3, der Rest der auffallenden Strahlen, welcher nicht durch die Platte hindurchgeht, ist 7,8 oder ungefähr $^1/_{13}$ der einfallenden Strahlen; dieser Rest kann nun entweder absorbirt, oder an den beiden Oberflächen der Steinsalzplatte rechtwinklig reflectirt worden sein; in der That findet nur das Letztere, d. h. im Steinsalz findet gar keine merkliche Absorption der Wärmestrahlen Statt. Zu diesem Schlusse ist man schon dadurch berechtigt, daß die Dicke einer Steinsalzplatte gar keinen Einfluß auf die Quantität der durchgelassenen Wärmestrahlen ausübt; eine Steinsalz-

platte von 1 Millimeter Dicke läßt die Wärmestrahlen nicht besser durch als eine andere, welche mehrere Centimeter dick ist.

Dieser Schluß wird durch folgende Versuche zur Gewißheit.

Bringt man einmal eine 8 Millimeter dicke Glasplatte, dann aber sechs Glasplatten von derselben Glassorte in den Apparat, welche zusammen 8 Millimeter dick sind, so wird sich die Menge der Wärmestrahlen, welche die eine Platte durchläßt, zu der, welche durch die sechs Platten geht, wie 23 zu 15 verhalten. In beiden Fällen ist der Verlust durch Absorption ganz derselbe; wenn also das System von sechs Platten weniger Wärmestrahlen durchläßt, so kann dies nur eine Folge der mehrfachen Reflexionen sein. Weil die Absorption in der einen dicken Platte dieselbe Wirkung ausübt, wie in den sechs dünnen, so kann man sie ganz unberücksichtigt lassen, man kann annehmen, sie sei gleich Null, oder auch, es wären nur Strahlen von einer solchen Wärmefärbung eingefallen, daß sie gar nicht vom Glase absorbirt werden; bezeichnen wir unter dieser Voraussetzung mit 1 die Intensität der einfallenden Strahlen, mit r den durch die Reflexion an den beiden Oberflächen hervorgebrachten Verlust, so ist die Intensität der Wärmestrahlen, welche durch eine Platte durchgehen, $1 - r$; die Intensität der Wärmestrahlen, welche die sechs Platten durchlaufen haben, wird demnach $(1 - r)^6$ sein. Die Wärmemenge, welche durch eine Platte hindurchgeht, verhält sich demnach zu der, welche die sechs Platten durchlassen, wie $1 - r$ zu $(1 - r)^6$ oder wie 1 zu $(1 - r)^5$. Nach dem Versuche verhalten sich aber diese Wärmemengen wie 23 zu 15, wir haben also

$$23 : 15 = 1 : (1 - r)^5,$$

und daraus folgt $(1 - r)^5 = 0{,}65217\ldots$, also $1 - r = 0{,}918$ und $r = 1 - 0{,}918 = 0{,}082$. Aus diesem Versuche ergiebt sich also für den Verlust durch Spiegelung an den beiden Flächen einer Glasplatte der Werth 0,082, was fast gleich $^1/_{13}$ und dem entsprechenden Werthe für Steinsalz ganz gleich ist. Bergkrystall, senkrecht auf die Axe geschnitten, giebt denselben Werth, und man kann daraus folgende Schlüsse ziehen: 1) das Steinsalz läßt die Wärmestrahlen ohne merkliche Absorption durch; 2) die rechtwinklige Reflexion an der ersten und zweiten Oberfläche einer Platte von Steinsalz, Glas oder Quarz beträgt nur $^1/_{13}$ der einfallenden Wärmestrahlen.

Einfluß der Dicke diathermaner Platten auf die Durchlassung der Wärmestrahlen. 228 Wir haben gesehen, daß das Steinsalz keine merkliche Absorption auf die Wärmestrahlen ausübt, wenigstens wenn die Platten nur 3 bis 4 Centimeter dick sind; das Steinsalz ist aber auch der einzige vollkommen diathermane Körper; alle anderen Körper absorbiren mehr oder weniger Wärmestrahlen. Die Größe der Absorption hängt aber nicht allein von der Natur der Wärmequelle, sondern auch von der Dicke der Platten ab.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate, welche in dieser Hinsicht für Glas, durchsichtigen Bergkrystall, Rauchtopas, Rüböl und destillirtes Wasser beobachtet wurden.

Dicke in Millimetern.	Glas von St. Gobin.			Durchsichtiger Bergkrystall.			Rauchtopas.			Rüböl.		Destillirtes Wasser.	
	Locatelli'sche Lampe.	Glühendes Platin.	Kupfer von 400°.	Locatelli'sche Lampe	Glühendes Platin.	Kupfer von 400°.	Locatelli'sche Lampe.	Glühendes Platin.	Kupfer von 400°.	Locatelli'sche Lampe.	Glühendes Platin.	Locatelli'sche Lampe.	Glühendes Platin.
0,5	77,5	62,1	14,4	78,6	69,5	14,8	81,7	70,0	15,4	64,0	32,0	25,1	8,7
1,0	73,3	51,5	9,9	76,8	65,1	11,3	78,6	65,0	12,3	48,3	22,8	19,3	5,7
1,5	70,4	46,1	6,7	74,8	62,5	9,7	»	»	»	41,0	18,7	16,0	4,2
2,0	68,2	42,8	5,0	73,3	60,6	8,7	75,1	60,3	9,1	36,1	16,3	13,9	3,2
2,2	66,6	»	»	72,5	»	»	»	»	»	32,7	»	»	»
3	65,3	38,3	2,9	71,8	57,6	7,3	73,1	57,4	7,8	30,6	13,6	11,4	2,0
4	63,4	35,8	2,0	70,8	55,3	6,6	71,4	54,8	7,0	27,8	12,0	10,0	1,5
5	62,0	34,0	1,5	70,2	53,3	6,0	»	»	»	25,7	10,8	9,1	1,1
6	60,9	32,3	1,4	69,8	51,4	5,3	»	»	»	23,9	9,8	8,6	1,0
7	60,0	30,9	1,2	69,5	49,8	5,0	»	»	»	22,6	8,9	8,2	0,8
8	59,2	29,7	1,1	69,3	48,4	4,6	»	»	»	21,8	8,1	8,0	0,6
9	»	»	»	»	»	»	»	»	»	21,2	7,5	7,8	0,5
10	»	»	»	»	»	»	»	»	»	21,0	7,1	7,7	0,4
11	»	»	»	»	»	»	»	»	»	20,9	6,7	7,7	0,3
50	»	»	»	»	»	»	»	»	»	12,5	2,1	2,4	0,0
86	»	»	»	»	»	»	59,0	35,0	0,7	»	»	»	»
100	»	»	»	»	»	»	»	»	»	8,1	1,2	1,3	0,0
150	»	»	»	»	»	»	»	»	»	6,1	»	0,7	0,0
200	»	»	»	»	»	»	»	»	»	5,3	»	»	»

Nicht alle Zahlen dieser Tabelle sind das unmittelbare Resultat des Versuchs, weil es nicht immer möglich war, Platten zu erhalten, welche genau $^1/_2$, $^2/_2$, $^3/_2$ u. s. w. Millimeter dick waren; die Zahlen, welche diesen Dicken entsprechen, wurden durch Interpolation aus den benachbarten beobachteten Werthen abgeleitet.

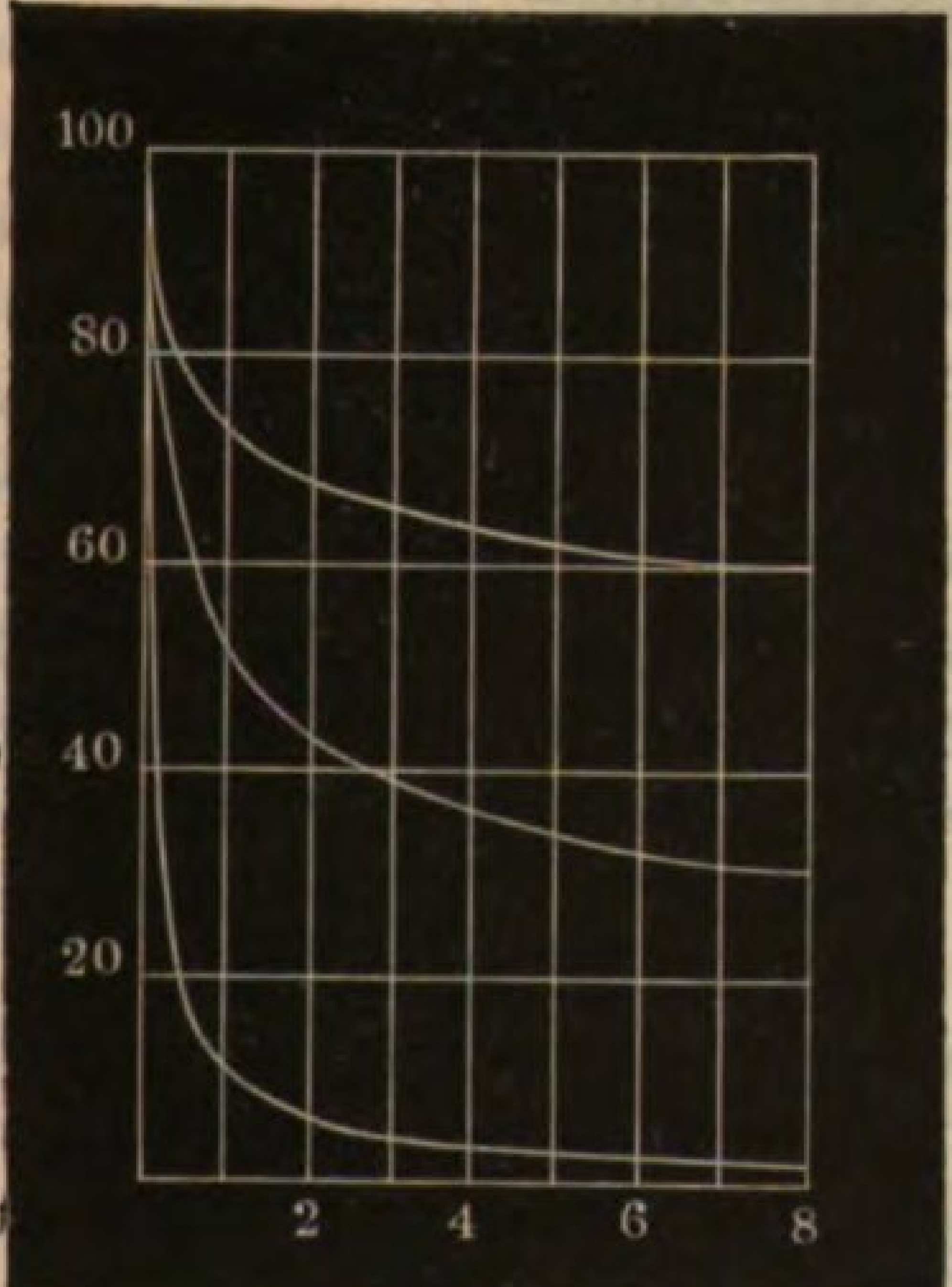
Das Rüböl wurde, um es dem Versuche zu unterwerfen, in ein Behälter gegossen, welches auf beiden Seiten mit Steinsalzplatten begränzt war. Wenn die Dicke der Oelschicht mehr als 3 Millimeter betrug, so war es gleichgültig, ob sie zwischen Glasplatten oder zwischen Steinsalzplatten eingeschlossen war.

Nachdem ermittelt worden war, daß reines Wasser ebenso wirkt wie Salzwasser, war es leicht zu erkennen, daß eine Wasserschicht denselben Effect hervorbringt, mag sie nun zwischen Glasplatten oder zwischen Steinsalzplatten eingeschlossen sein.

Man sieht, daß für die fünf Körper die Absorption bei einer Dicke von $^1/_2$ Millimeter schon sehr beträchtlich und daß sie um so bedeutender wird, je niedriger die Temperatur der Wärmequelle ist.

Die Absorption nimmt bei zunehmender Dicke anfangs rasch zu, sie scheint sich aber einer bestimmten Gränze zu nähern, denn für eine bedeutende Dicke hat eine Vermehrung derselben keinen merklichen Einfluß mehr. Es läßt sich dies am besten durch eine graphische Darstellung der in unserer Tabelle zusammengestellten Resultate übersehen. In Fig. 569 sind die Abscissen der Dicke der Platten, die Ordinaten der Intensität der Wärmestrahlen proportional, welche eine Glasplatte der entsprechenden Dicke durchläßt. Die oberste Curve entspricht dem Falle, daß die einfallenden Strahlen von der Locatelli'schen Lampe kommen, die zweite gilt für das glühende Platin, die dritte für das auf 400° erwärmte Kupferblech.

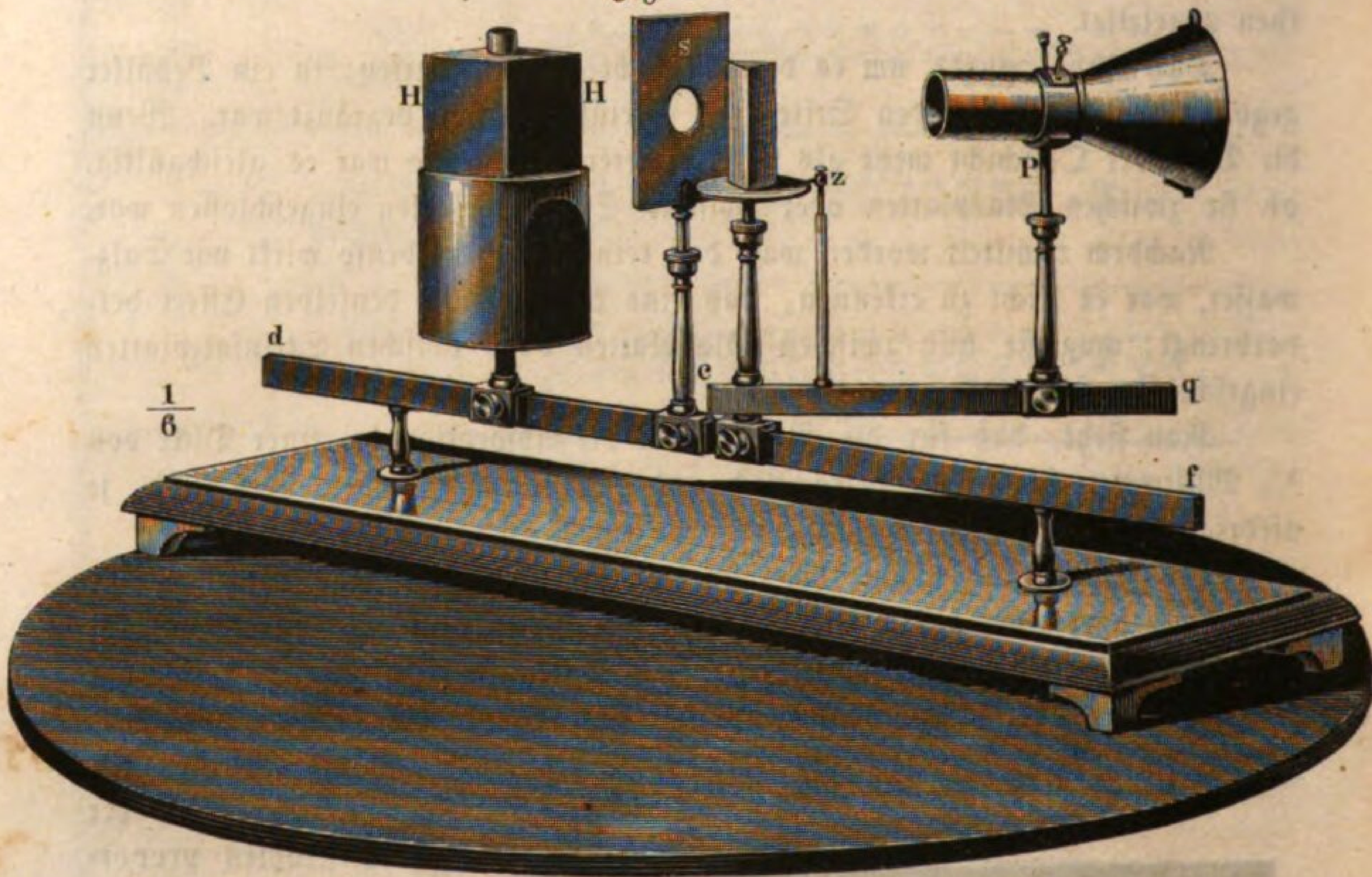
Fig. 569.



Wir sehen aus dieser Zusammenstellung auch, daß die Wärmestrahlen der verschiedenen Wärmequellen aus sehr verschieden absorbirbaren Elementen bestehen; um die Strahlen der einen Quelle fast vollständig zu absorbiren, ist nur eine sehr geringe Dicke nöthig, während andere Strahlen selbst bei einer sehr bedeutenden Dicke der Absorption widerstehen. Die Wärmequellen von niedriger Temperatur enthalten im Allgemeinen eine größere Anzahl absorbirbarer Elemente, wenigstens für die in unserer Tabelle enthaltenen Substanzen.

229 **Brechung der Wärmestrahlen.** Fig. 570 stellt den Melloni'schen Apparat dar, wie er eingerichtet ist, um die Brechung der Wärmestrahlen nachzuweisen, nur muß man statt des Wasserwürfels *H* die Locatelli'sche

Fig. 570.



Lampe anwenden. Das durch die Oeffnung des Schirmes *s* hindurchgegangene Licht- und Wärmestrahlenbündel wird durch ein Steinsalzprisma aufgefangen, welches so gestellt wird, daß die von der Locatelli'schen Lampe auf dasselbe fallenden Lichtstrahlen das Minimum der Ablenkung im Prisma erleiden.

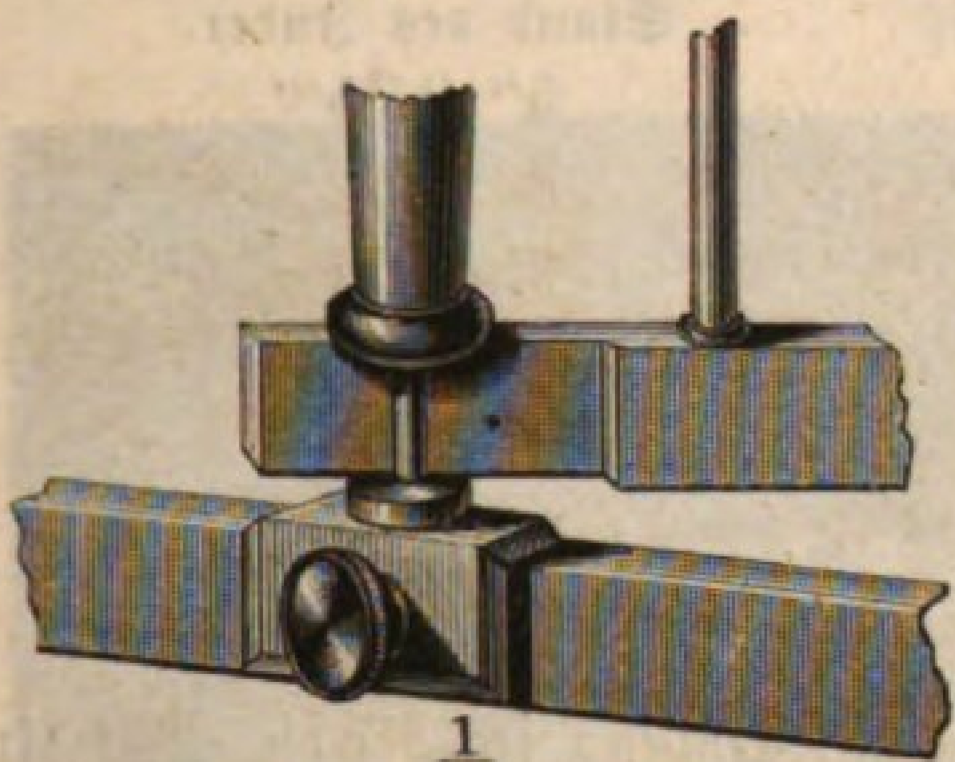
Um den Fuß des Trägers, auf welchem das Prisma steht, ist die Schiene *cq* drehbar, welche die Thermosäule *P* trägt und diese Schiene wird so gestellt, daß die Thermosäule in die Richtung der aus dem Prisma austretenden Lichtstrahlen kommt. Der Umfang der Scheibe, auf welcher das Prisma steht, ist mit einer Theilung versehen, auf welche man mittelst des Zeigers *z*, der sich mit der Schiene *cq* bewegt, den Winkel ablesen kann, welchen die Schiene *cq*, also auch die aus dem Prisma austretenden Strahlen mit der Hauptschiene *df* oder mit der Richtung der einfallenden Strahlen machen.

Aus Fig. 571 sieht man, wie die Drehung der Schiene *cq* möglich gemacht ist.

Sobald nun die Thermosäule in die eben bezeichnete Stellung gebracht ist, wird die Nadel des mit ihr verbundenen Multiplicators abgelenkt; sie kehrt aber sogleich wieder in ihre Gleichgewichtslage zurück, wenn man die von der Lampe auf das Prisma fallenden Strahlen durch einen zwischengehaltenen Schirm auffängt.

Dieser Versuch beweist nun unzweifelhaft, daß die Wärmestrahlen in gleicher Weise gebrochen werden wie die Lichtstrahlen. Der eben beschriebene Versuch gelingt auch noch, wenn man statt der Locatelli'schen Lampe die glühende Platinspirale oder das bis auf 400° erhitzte Kupferblech, ja selbst den mit kochendem Wasser gefüllten Würfel anwendet, wenn nur die Thermosäule und der Multiplicator empfindlich genug sind.

Fig. 571.



$\frac{1}{3}$

Die Ablenkung der Nadel hört gleichfalls auf, wenn man die Schiene *cq* so dreht, daß die Thermosäule aus der Richtung der vom Prisma herkommenden Strahlen herauskommt.

Wenn man die erwärmende Wirkung der verschiedenen Strahlen des Sonnenspectrums untersucht, so findet man, daß die brechbareren Strahlen nur sehr geringe calorische Effecte hervorbringen, daß dieselben um so mehr zunehmen, je mehr man sich dem rothen Ende des Spectrums nähert, ja daß das Maximum der Erwärmung noch jenseits der rothen Gränze des sichtbaren Spectrums liegt.

So haben wir denn gesehen, daß das sichtbare Spectrum noch auf beiden Seiten von Strahlen begleitet ist, welche, wenn auch nicht auf das Auge, doch auf andere Agentien zu wirken im Stande sind. Die Strahlen, welche schneller vibriren als die violetten, bringen noch chemische, solche Strahlen, welche langsamer vibriren als die rothen, bringen noch calorische Wirkungen hervor.

Schon frühere Versuche über die Vertheilung der Wärme im Sonnenspectrum hatten dargethan, daß die Erwärmung am violetten Ende sehr unbedeutend ist und daß sie gegen das rothe Ende des Spectrums hin wächst; Seebeck aber wies nach (Schweigger's Journal 1824, Bd. XL, S. 129), daß in dem Spectrum eines Flintglasprismas das Maximum der Erwärmung noch über das rothe Ende des Spectrums hinausfalle.

Seebeck hatte seine Versuche in folgender Weise angeordnet. Durch eine 49 Quadratzoll große Oeffnung im Laden eines dunkeln Zimmers fiel ein Bündel Sonnenstrahlen auf das Prisma, welches so gestellt wurde, daß seine brechende Kante horizontal gerichtet und nach unten gekehrt war, das Spectrum also einen verticalen Farbenstreif bildete, dessen Roth unten war. Als Thermoskop wandte Seebeck ein Luftthermometer an, dessen dünnglasige mit Tusch überzogene Kugel ungefähr $^1/_2$ Zoll Durchmesser hatte und welche an eine 15 Zoll lange Röhre angeblasen war. In dieser Röhre befand sich ein Flüssigkeitssäulchen von ungefähr 1 Zoll Länge, welches als Index diente. Der Nullpunkt der an der Röhre angebrachten Scala lag nahe bei der Kugel. Die Kugel dieses Thermoskops wurde in einem Abstande von 6 bis 7 Fuß vom

Prisma in die verschiedenen Strahlen des Spectrums eingesenkt. Eine mit einem Crownglasprisma angestellte Versuchsreihe gab z. B. folgende Resultate:

Stellung der Kugel.	Stand des Index.
1/2 Zoll über Violett	5″ 0,75‴
im Violett	6 5,5
» Blau	7 5,0
» Gelb	9 1,5
» Roth	10 7
1/4 Zoll unter Roth	9 3
1 » » »	7 0

Hier erschiene also das Maximum der Erwärmung im Roth. Mit einem Flintglasprisma ergaben sich am rothen Ende des Spectrums folgende Resultate:

im Roth	6″ 9‴
1/4 Zoll unter Roth	7 10
1 » » »	7 0

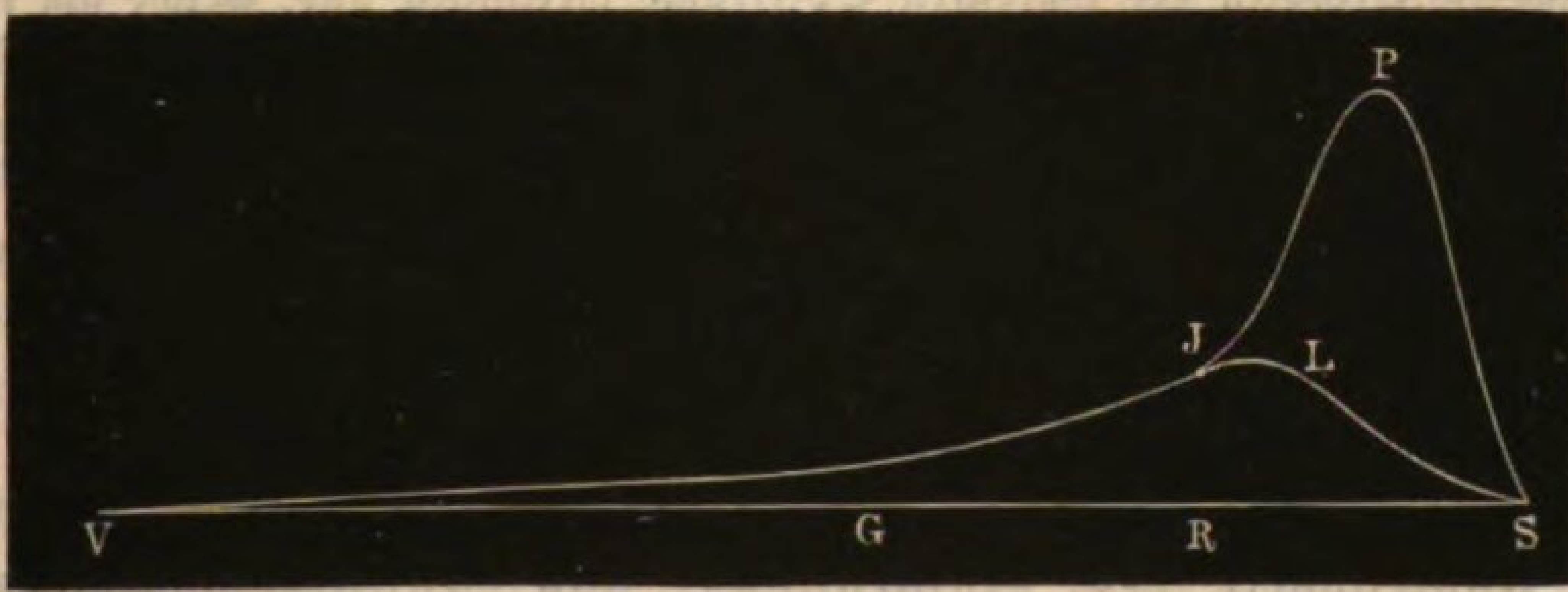
Hier erschien das Maximum der Erwärmung also noch jenseits der rothen Gränze des sichtbaren Spectrums, während Seebeck für ein Wasserprisma das Maximum der Erwärmung im Gelb fand.

Offenbar war für eine genaue Ermittelung der Lage des Maximums der Erwärmung Seebeck's Spectrum nicht rein genug, d. h. an jeder Stelle dieser Spectra fallen Strahlen von mehr oder weniger verschiedener Brechbarkeit zusammen, ein Fehler, welcher bei dem Wasserprisma mehr, beim Flintglasprisma weit weniger merklich wird. Dieser Umstand ist aber die Ursache, wegen deren Seebeck die Wärmevertheilung im Spectrum verschiedener Substanzen so ungleich fand, was nach den neueren, von Masson und Jamin mit Hülfe einer eigens für diesen Zweck construirten Thermosäule, nicht der Fall ist. Die genannten Gelehrten fanden, daß die Wärmestrahlen jeder Brechbarkeit zwischen dem äußersten Violett und dem äußersten Roth von Steinsalz, Bergkrystall, Alaun, Glas und Wasser gleich vollständig durchgelassen werden, daß also innerhalb des sichtbaren Spectrums alle farblos durchsichtigen Substanzen auch gleich diatherman sind. Die ungleiche Diathermanität der eben genannten Substanzen, von welcher in §. 227 berichtet wurde, kann also nur darin bestehen, daß sie sich gegen diejenigen Strahlen, welche noch weniger brechbar sind als die äußersten rothen, ungleich verhalten.

Die Fig. 572 mag dazu dienen, diese Beziehungen anschaulich zu machen. Die Curve *VJLS* stelle die Intensität der Erwärmung in einem Flintglasspectrum, die Curve *VJPS* stelle dasselbe für ein gleich ausgedehntes Steinsalzspectrum dar. *V* stellt die violette, *R* stellt die rothe Gränze des sichtbaren Spectrums dar, das Stück *RS* gehört also den dunkeln Wärmestrahlen an. Der Verlauf der beiden Curven ist innerhalb des sichtbaren Spectrums ganz derselbe, erst für dunkle Wärmestrahlen (die ultrarothen) trennen sie sich.

Die in Fig. 572 verzeichneten Curven haben nur qualitative Geltung; zu einer quantitativen Construction derselben fehlt es noch an Beobachtungsmaterial.

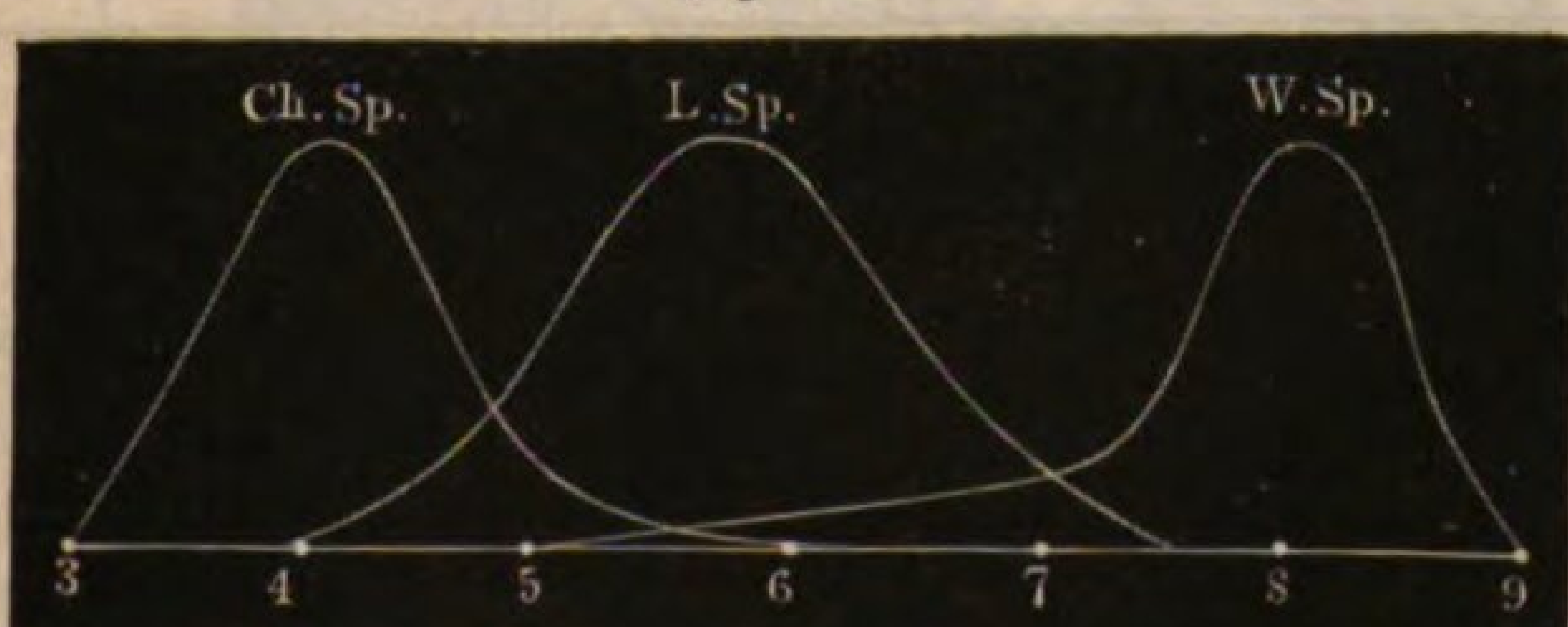
Fig. 572.



Die dunkeln Wärmestrahlen, welche z. B. das erhitzte Kupferblech Fig. 568, Seite 644, aussendet, sind demnach solche, deren Wellenlänge größer ist als 0,00075 Millimeter (die Wellenlänge der äußersten rothen Strahlen).

Die Untersuchungen von Masson und Jamin setzen es außer Zweifel, daß Licht- und Wärmestrahlen von gleicher Brechbarkeit vollkommen identisch sind. — So ist denn die Existenz von Strahlen nachgewiesen, deren Wellenlänge in Luft zwischen die Gränzen 0,0003 und 0,0009 Millimeter fällt und welche Licht- und Wärmeeffecte, so wie chemische Wirkungen hervorbringen. Einen directen Lichteindruck bringen auf das Auge nur diejenigen Strahlen hervor, deren Wellenlängen zwischen 0,00039 und 0,00075 Millimetern liegen. Vorzugsweise chemische Wirkungen bringen die schneller vibrirenden Strahlen hervor, deren Wellenlänge zwischen 0,0003 und 0,0005 Millimetern liegen, während die langsamer vibrirenden Strahlen (Wellenlänge 0,0006 bis 0,0009 Millimeter) vorzugsweise thermische Effecte hervorbringen. Das Maximum der Lichtwirkung entspricht der Wellenlänge 0,00055 Millimeter; das Maximum der chemischen Wirkung der Wellenlänge 0,0004 Millimeter, das Maximum der thermischen Wirkung ungefähr der Wellenlänge 0,0008 Millimeter. In diesem Sinne stellt Fig. 573 die Intensitätscurven des leuchtenden, des chemischen und des thermischen Spectrums dar und zwar sind die Abscissen der

Fig. 573.



Wellenlänge proportional aufgetragen. Der mit 3 bezeichnete Punkt entspricht der Wellenlänge 0,0003 Millimeter, der mit 9 bezeichnete der Wellenlänge 0,0009 Millimeter.

Uebereinstimmend mit der physikalischen Erfahrung, daß die weniger brechbaren Strahlen des sichtbaren Spectrums diejenigen sind, welche am kräftigsten zu erwärmen vermögen, bezeichnen die Maler, geleitet durch ein richtiges Gefühl, von dem sie sich wohl schwerlich Rechenschaft geben können, die blauen Farbentöne als kalte, die rothen und gelbrothen als warme.

Die in diesem Paragraphen besprochenen Thatsachen erklären auch, weshalb für Gewächshäuser die Anwendung blauer Scheiben vortheilhaft, die Anwendung rother und gelber dagegen nachtheilig ist. Die letzteren absobiren nämlich die für die Vegetation nöthigen chemischen Strahlen.

230 **Ungleichheit des Absorptions- und Diffusionsvermögens für die Strahlen verschiedener Wärmequellen.** Da die diathermanen Körper bald die Wärmestrahlen der einen, bald die der anderen Wärmefarbe vorzugsweise absorbiren, so fragt es sich, ob nicht auch bei den athermanen Körpern etwas Aehnliches stattfindet, d. h. ob die athermanen Körper die Wärmestrahlen aller Arten mit gleicher Leichtigkeit absorbiren oder nicht?

Um diese Frage zu beantworten, stellte Melloni folgende Versuche an: Aus einer und derselben Kupfertafel wurden eine Anzahl Scheiben geschnitten, deren Durchmesser nur wenig größer war als der Durchmesser der äußeren Oeffnung des an die thermoelektrische Säule angesetzten conischen Reflectors; alle diese Scheiben wurden auf der einen Seite durch Ruß geschwärzt, auf der anderen Seite aber mit einem gleichmäßigen Anstriche der zu prüfenden Substanz versehen; diese Scheiben wurden nun nach einander dicht vor die Oeffnung des conischen Reflectors gebracht, indem die geschwärzte Seite der Säule, die andere aber der Wärmequelle zugekehrt war. Durch die an der Vorderseite absorbirten Wärmestrahlen wurde die Platte erwärmt und sandte in Folge dessen auf der anderen Seite Wärmestrahlen nach der Säule. Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche.

Namen der Körper.	Glühendes Platin.	Kupfer von 400°.	Kupfer von 100°.
Kienruß	100	100	100
Bleiweiß	56	89	100
Hausenblase	54	64	91
Tusch	95	87	85
Gummilack	47	70	72
Blanke Metallfläche	13,5	13	13

Es ist hier das Absorptionsvermögen des Kienrußes mit 100 bezeichnet und damit das Asorptionsvermögen der anderen Körper verglichen worden, indem man einmal eine auf beiden Seiten berußte Scheibe und darauf die nur auf der einen Seite berußte, auf der anderen mit dem zu untersuchenden Körper überstrichene vor die Säule setzte. Man sieht aus dieser Tabelle, daß das Bleiweiß bei weitem weniger Wärmestrahlen absorbirt als der Kienruß, wenn das glühende Platin als Wärmequelle dient; die von dem auf 400° erwärmten Kupferbleche ausgehenden Strahlen werden schon vollständiger von Bleiweiß absorbirt; die Wärmestrahlen endlich, welche von der nur auf 100° erwärmten Wärmequelle ausgehen, werden durch das Bleiweiß eben so vollständig absorbirt als vom Kienruß.

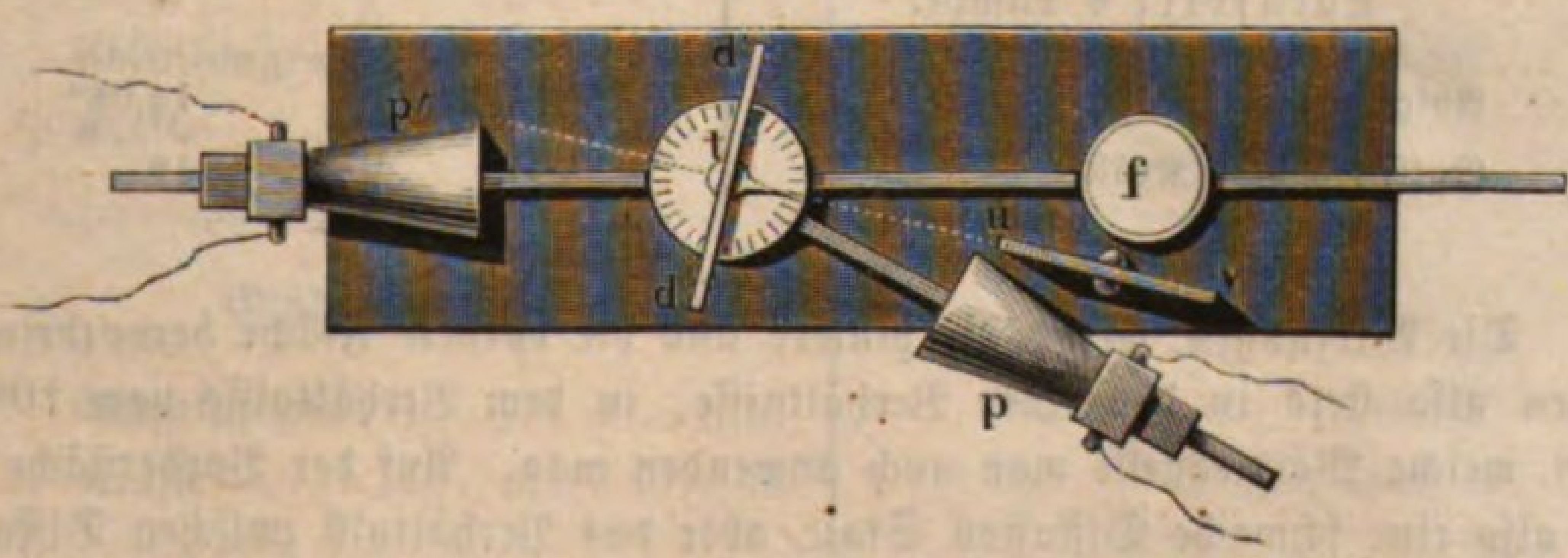
Der Tusch zeigt ein umgekehrtes Verhalten; er absorbirt die Strahlen, welche von einer Wärmequelle von geringer Temperatur herkommen, weniger gut als die vom glühenden Platin ausgesandten.

Das Bleiweiß absorbirt also vorzugsweise die weniger brechbaren Wärmestrahlen, der Tusch hingegen die brechbareren.

Der Kienruß absorbirt unter allen bekannten Körpern die Wärmestrahlen am vollständigsten; es folgt aber daraus doch noch nicht, daß er wirklich die Wärmestrahlen aller Wärmequellen in gleichem Verhältnisse absorbirt. Die vollständige Kenntniß der Art und Weise, wie der Kienruß die verschiedenen Wärmestrahlen absorbirt, ist aber von der höchsten Wichtigkeit, weil alle Thermoskope, welche man zur Untersuchung der strahlenden Wärme anwendet, mit Ruß überzogen sind. Bei allen Untersuchungen mit der Thermosäule wurde stillschweigend angenommen, daß der Kienruß alle Wärmestrahlen gleichförmig absorbire, und alle aus den Beobachtungen mit diesem Instrumente gezogenen Folgerungen würden falsch sein, wenn diese Voraussetzung unwahr wäre; Melloni hat die Richtigkeit dieser Voraussetzung durch folgende Versuche bewiesen.

Es sei dd', Fig. 574, die Horizontalprojection einer auf beiden Seiten

Fig. 574.



berußten Scheibe von Kupferblech, welche 15 bis 20 Centimeter Durchmesser hat. Vor der Scheibe dd' ist ein Metallschirm uv aufgestellt, welcher die Thermosäule in p vor der directen Wirkung der von der Wärmequelle bei f ausgehenden Strahlen schützt. Die Thermosäule ist am Ende eines horizontalen Stabes befestigt, welcher um die Axe t drehbar ist, so daß man

die Thermosäule leicht von p nach p' und wieder zurückbringen kann. Der Winkel, welchen die Axe der Thermosäule mit der Ebene von dd' macht, ist in beiden Lagen derselbe, d. h. es ist Winkel ptd' gleich Winkel $p'td'$. Zuerst wurde nun die Säule in die Lage p' gebracht; die Scheibe dd' erwärmte sich durch die von f ausgehenden und auf der Vorderseite von dd' absorbirten Strahlen, und in Folge dieser Erwärmung sandte dann die hintere Seite der Scheibe selbst Wärmestrahlen nach der Thermosäule. Man rückte die Wärmequelle so, daß das Maximum der Wirkung auf die Thermosäule in p' eine Ablenkung von ungefähr 12° hervorbrachte. Nun wurde die Säule nach p gebracht; jetzt mußte die Ablenkung größer sein, denn die vordere Fläche sandte nicht allein Wärmestrahlen in Folge der Erwärmung der Scheibe aus, sondern sie zerstreut auch einen Theil der von f kommenden Wärmestrahlen. Diese Versuche gaben folgende Resultate:

	Wirkungen der	
	hinteren Fläche.	vorderen Fläche.
Metall von 400°.		
Ablenkungen	12,36°	14,58°
Entsprechende Kräfte	100	118
Glühendes Platin.		
Ablenkungen	12,26°	14,35°
Entsprechende Kräfte	100	117
Locatelli's Lampe.		
Ablenkungen	11,83°	14,08°
Entsprechende Kräfte	100	119

Die Wirkungen, welche die hintere und die vordere Fläche hervorbringen, stehen also stets in demselben Verhältnisse, in dem Verhältnisse von 100 zu 118, welche Wärmequelle man auch anwenden mag. Auf der Vorderfläche findet also eine schwache Diffusion Statt, aber das Verhältniß zwischen Diffusion und Absorption ist stets dasselbe; der Kienruß hat also in der That für Wärmestrahlen aus allen Quellen gleiches Absorptionsvermögen.

Da der Kienruß alle Wärmestrahlen fast ganz absorbirt, so ist er so zu sagen schwarz für die Wärmestrahlen wie für die Lichtstrahlen.

Nun drängt sich die interessante Frage auf, ob es Körper giebt, welche alle Wärmestrahlen gleich gut zerstreuen, also Körper, welche für die Wärmestrahlen das sind, was ein **weißer** Körper für das Licht ist. Solche wärmeweißen Körper sind nun die Metalle; denn aus der Tabelle auf Seite 654 sehen wir, daß sie die Wärmestrahlen aller Arten in gleichem Maße absorbiren, folglich müssen sie auch alle Wärmestrahlen in gleichem Verhältnisse zerstreuen.

Aus der auf Seite 654 angeführten Tabelle ersieht man, daß das Bleiweiß nicht alle Wärmearten gleich gut absorbirt, und daraus folgt dann, daß auch sein Diffusionsvermögen für die Wärmestrahlen verschiedener Wärmequellen sehr ungleich sein müsse. **Melloni** hat dies auch durch den Versuch direct bewiesen. Die Wärmequelle *f*, Fig. 574, und die thermoelektrische Säule *p* waren gerade ebenso aufgestellt, wie bei dem Versuche, durch welchen die Gleichheit des Absorptionsvermögens des Kienrußes für alle Wärmestrahlen bewiesen wurde, die dünne Metallscheibe *dd'* war aber nur auf der Rückseite geschwärzt, auf der Vorderseite hingegen mit Bleiweiß angestrichen, wenn sich nun die thermoelektrische Säule in *p'* befand, so wurde sie nur durch die von der Scheibe in Folge ihrer Erwärmung ausgestrahlte Wärme afficirt; befand sich aber die Säule in *p*, so wirkten außerdem auch noch die an der Vorderfläche zerstreuten Strahlen auf dieselbe. Die Resultate dieser Versuche waren folgende:

	Wirkungen der hinteren schwarzen Fläche.	Wirkungen der vorderen weißen Fläche.
Metall von 400°.		
Ablenkungen	11,51°	15,96°.
Kräfte	93	129
Glühendes Platin.		
Ablenkungen	10,32°	18,68°
Kräfte	84	152
Locatelli's Lampe.		
Ablenkungen	8,13°	21,05°
Kräfte	69	181

Es sind also

die Ausstrahlungen der Hinterfläche	93	84	69
die entsprechenden Ausstrahlungen der Vorderfläche	129	152	181
das Verhältniß beider	$^{10}/_{14}$	$^{10}/_{18}$	$^{10}/_{26}$.

Die weiße Fläche hat also nicht gleiches Absorptions- und Diffusionsvermögen für alle Wärmearten. Die Strahlen des auf 400° erhitzten Metalls werden von derselben fast eben so gut absorbirt als von der schwarzen; eine stärkere Diffusion und eine geringere Absorption erleiden die Strahlen des glühenden Platins, und dieses Verhältniß ändert sich noch mehr für die Locatelli'sche Lampe. Die weiße Fläche verhält sich demnach gegen die Wärmestrahlen wie eine farbige gegen das Licht; sie zerstreut nämlich Strahlen gewisser Wärmefarben, während sie andere Wärmestrahlen nicht zerstreut, sondern absorbirt.

231 **Polarisation der Wärmestrahlen.** Melloni hat die Polarisation der strahlenden Wärme durch folgenden Versuch nachgewiesen. An jedem Ende einer metallenen Röhre war ein Ring drehbar, welcher eine Säule von 8 bis 10 ganz dünnen Glimmerblättchen trug, die so auf einander gelegt sind, daß die Ebene der optischen Axen für alle diese Blättchen dieselbe Lage hatte; vor dieser Röhre befand sich eine Steinsalzlinse, in deren Brennpunkte die Wärmequelle aufgestellt war, so daß ein Bündel paralleler Wärmestrahlen auf die erste Glimmersäule fiel; auf der anderen Seite der Röhre war die thermoelektrische Säule aufgestellt. Je nachdem die Ringe mit den Glimmersäulen um die Axe der Röhre gedreht wurden, konnte man die Glimmersäulen nach Belieben so stellen, daß ihre Polarisationsebenen parallel waren, oder daß sie sich rechtwinklig kreuzten. Außerdem war aber auch noch die Einrichtung getroffen, daß man die Neigung der Glimmersäule gegen die Axe der Röhre ändern konnte.

Die Wärmemenge, welche durch die beiden Glimmersäulen hindurchgeht, ist nun sehr ungleich, je nachdem die Polarisatiosebenen der beiden Glimmersäulen parallel oder gekreuzt sind, wie man dies aus folgender Tabelle ersieht, welche die Resultate einer der zahlreichen von Melloni über die Polarisation der strahlenden Wärme angestellten Versuchsreihen enthält. Jede der beiden Glimmersäulen war bei dieser Versuchsreihe aus 20 Glimmerblättchen zusammengesetzt.

Neigung der Säulen gegen die Richtung der durchgehenden Strahlen.	Ablenkende Kraft der durchgelassenen Wärmestrahlen für	
	parallele Säulen.	gekreuzte Säulen.
45°	26,5	14,9
43	28,5	14,3
41	30,2	13,3
39	31,9	16,2
37	32,5	10,8
35	32,9	9,3
33	32,8	7,8
31	30,8	6,1
29	28,0	4,6
27	24,3	3,3
25	19,9	2,1
23	15	1,4

Wenn die Säulen gekreuzt sind, lassen sie also in der That weniger Wärmestrahlen durch als wenn sie parallel sind, und zwar wächst der Unterschied um so mehr, je mehr sich die Ebene der Glimmerblättchen der Richtung der durchgehenden Wärmestrahlen nähert; die Glimmersäulen polarisiren also die Wärmestrahlen durch Brechung um so vollständiger, je schräger sie hindurchgehen.

Forbes, welcher die ersten Versuche über die Polarisation der strahlenden Wärme angestellt hatte, glaubte aus seinen Beobachtungen den Schluß ziehen zu müssen, daß die Wärmestrahlen verschiedener Wärmequellen ungleich polarisirbar seien, was nach Melloni's Versuchen durchaus nicht der Fall ist.

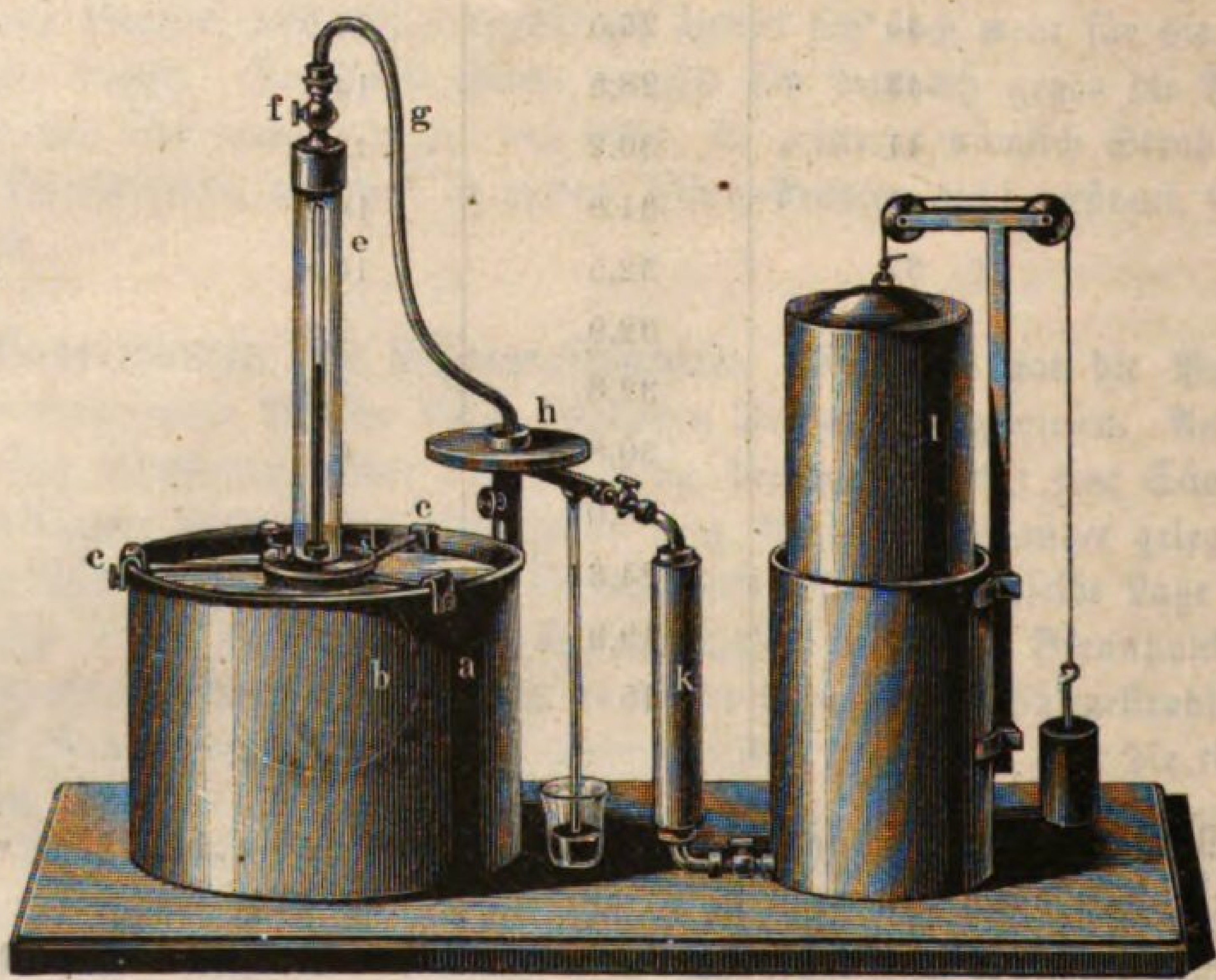
Auch durch Turmalinplatten lassen sich die Wärmestrahlen polarisiren. Ferner zeigt ein zwischen die beiden Glimmersäulen gebrachtes Glimmerblättchen die Erscheinungen der Depolarisation der Wärmestrahlen ganz in der Art, wie eine doppeltbrechende Krystallplatte, welche zwischen die gekreuzten Spiegel des Polarisationsapparates gebracht, das Gesichtsfeld wieder hell machen kann; daraus geht denn hervor, daß die strahlende Wärme auch der doppelten Brechung fähig ist. Ohne über die Gränzen eines Lehrbuchs hinauszugehen, dürfen wir jedoch diesen interessanten Gegenstand nicht weiter verfolgen.

Interferenzerscheinungen der strahlenden Wärme hat man bis jetzt noch nicht nachweisen können.

232 **Gesetze des Erkaltens.** Seit Newton, welcher zuerst einige Grundsätze über das Erkalten der Körper aufgestellt hatte, sind von vielen Gelehrten experimentale und mathematische Untersuchungen angestellt worden, doch blieb die Frage von unüberwindlichen Schwierigkeiten umgeben, bis Dulong und Petit sie vollständig lösten. Ihre Arbeit wurde im Jahre 1818 von der Akademie der Wissenschaften zu Paris gekrönt.

Der Apparat, den sie zu ihren Versuchen anwandten, ist Fig. 575 abge-

Fig. 575.



bildet; das kupferne Gefäß *a* ist mit Wasser angefüllt, welches durch fortwährende Bewegung und Erneuerung auf constanter Temperatur erhalten wird; *b* ist ein Ballon von Kupfer, welcher 30^cm Durchmesser hat und innen geschwärzt ist; er ist in das Wasserbad eingesenkt und durch die Träger *c* gehalten. Auf den breiten wohl abgeschliffenen Rand des Ballons wird eine vollkommen ebene Platte *d* von dickem Glase aufgesetzt, auf welche dann eine weite Glasröhre ganz so aufgesetzt wird, wie eine Glasglocke auf den Teller der Luftpumpe. Diese Röhre ist oben mit einem Hahn *f* versehen und durch die Bleiröhre *g* mit einer Luftpumpe in Verbindung gesetzt, von welcher in unserer Figur nur der Teller *h* gezeichnet ist. Das Rohr *k* ist mit Chlorcalcium gefüllt, welches dazu dient, das aus dem Gasometer *l* kommende Gas zu trocknen, wenn man Versuche über das Erkalten in verschiedenen Gasen anstellen will. Die Körper, welche man in diesem Apparate erkalten läßt, sind große Thermometer mit kugelförmigem Gefäße von 3 bis 6 Centimeter Durchmesser. Diese Thermometer sind mittelst eines Korkstopfens in der Glasplatte *d* befestigt und können mit dieser abgehoben und bis auf 100, 200 oder 300⁰ erwärmt werden.

Wenn das Thermometer bis auf die gehörige Temperatur erwärmt ist, wird es rasch in den Ballon gebracht, die Röhre *e* aufgesetzt und die Luft rasch ausgepumpt. Das Thermometer sinkt nun fortwährend, und man beobachtet in mehr oder weniger nahe auf einander folgenden Momenten die Temperaturabnahme, indem man zugleich die einer jeden Temperaturabnahme entsprechende Zeit mit Hülfe einer Uhr bestimmt.

Auf diese Weise haben Dulong und Petit viele Versuche ausgeführt. Die folgende Tabelle enthält die Resultate einer solchen Versuchsreihe, bei welcher stets dasselbe Thermometer angewandt wurde, während die Temperatur des Wasserbades und der Hülle *b* abgeändert wurde.

Temperaturüberschuß des Thermometers.	Geschwindigkeit des Erkaltens.				
	Hülle von 0°.	Hülle von 20°.	Hülle von 40°.	Hülle von 60°.	Hülle von 80°.
240°	10,69°	12,40°	14,35°	»	»
220	8,81	10,41	11,98	»	»
200	7,40	8,58	10,01	11,64°	13,45°
180	6,10	7,04	8,20	9,55	11,05
160	4,89	5,67	6,61	7,68	8,95
140	3,88	4,57	5,32	6,14	7,19
120	3,02	3,56	4,15	4,84	5,64
100	2,30	1,74	3,16	3,68	4,29
80	1,74	1,99	2,30	2,73	3,19
60	»	1,40	1,62	1,88	2,17

Unter Geschwindigkeit des Erkaltens ist immer die Temperaturerniedrigung zu verstehen, welche das Thermometer während einer Minute erleidet. Wenn z. B. die Hülle eine Temperatur von 0°, das Thermometer aber eine um 240° höhere Temperatur hat, so sinkt es in einer Minute um 10,69°; wenn aber das Thermometer auf 100° erkaltet ist, so nimmt seine Temperatur in einer Minute nur noch um 2,3° ab.

Newton hatte geglaubt, daß der Wärmeverlust eines Körpers in jedem Augenblicke seinem Temperaturüberschusse proportional sei; die oben angeführte Versuchsreihe zeigt aber, daß dies nicht der Fall ist.

Wenn das Thermometer bei einem Temperaturüberschusse von 80° in einer Minute um 1,74° erkaltet, so müßte es nach dem Newton'schen Gesetze bei einem Temperaturüberschusse von 160° in einer Minute um 3,48° und bei 240° in einer Minute um 5,22° erkalten, während nach den Dulong'schen

Versuchen bei einem Temperaturüberschusse von 160 und 240° die Erkaltung weit rascher vor sich geht.

Das Newton'sche Gesetz ist nur so lange annähernd richtig, als der Temperaturüberschuß nicht über 40 bis 50° beträgt; die Erkaltungsgeschwindigkeit wächst in einem weit rascheren Verhältnisse als der entsprechende Temperaturüberschuß.

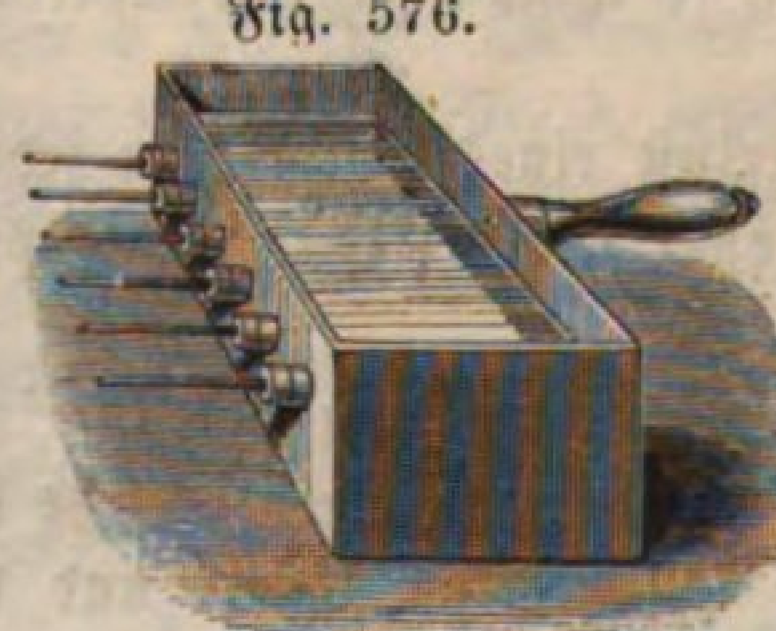
Man sieht auch aus obiger Tabelle, daß bei gleichem Temperaturüberschusse die Geschwindigkeit des Erkaltens noch von der Temperatur der Hülle abhängig ist. Wenn z. B. die Hülle 80° warm ist, so ist bei gleichem Temperaturüberschusse die Geschwindigkeit des Erkaltens fast doppelt so groß als bei einer Hülle von 0°.

Versuche, welche mit Thermometern angestellt wurden, deren Kugeln verschiedene Durchmesser hatten, ergaben das Resultat, daß sich die Erkaltungsgeschwindigkeit umgekehrt wie der Durchmesser verhält; daß die Erkaltungsgeschwindigkeit von der Natur der Oberfläche abhängt, versteht sich von selbst.

Wenn der erkaltende Körper ringsum von Luft oder irgend einem anderen Gas umgeben ist, so verliert er seine Wärme aus zwei Ursachen, nämlich durch Strahlung nach denselben Gesetzen wie im leeren Raume und durch die Berührung mit dem Gas, welches sich durch das Aufwärtsströmen der erwärmten Theilchen stets erneuert.

233 **Verbreitung der Wärme durch Leitung.** Nicht allein durch Strahlung, sondern auch bei unmittelbarer Berührung kann die Wärme von einem Körper zum anderen übergehen und sich alsdann durch seine ganze Masse hindurch verbreiten; doch findet in Beziehung auf die Leichtigkeit, mit welcher die Wärme in einen Körper übergeht und sich durch seine Masse verbreitet, eine große Ungleichheit zwischen verschiedenen Körpern Statt; in manchen verbreitet sich die Wärme außerordentlich leicht, während in anderen die Wärme weniger leicht von einem Theilchen zum anderen übergeht. Ein brennendes Schwefelhölzchen kann man zwischen den Fingern halten, ohne nur eine Temperaturerhöhung des Holzes zu fühlen; die hohe Temperatur des brennenden Endes theilt sich also nicht so leicht der übrigen Masse des Holzes mit, das Holz ist ein *schlechter Wärmeleiter*; einen gleich langen Metalldraht aber, den man an dem einen Ende glühend gemacht hat, kann man am anderen Ende nicht anfassen, ohne sich zu verbrennen, die Wärme verbreitet sich also leicht von dem glühenden Ende aus durch das ganze Drahtstück, das Metall ist also ein *guter Wärmeleiter*.

Fig. 576.



$\frac{1}{8}$

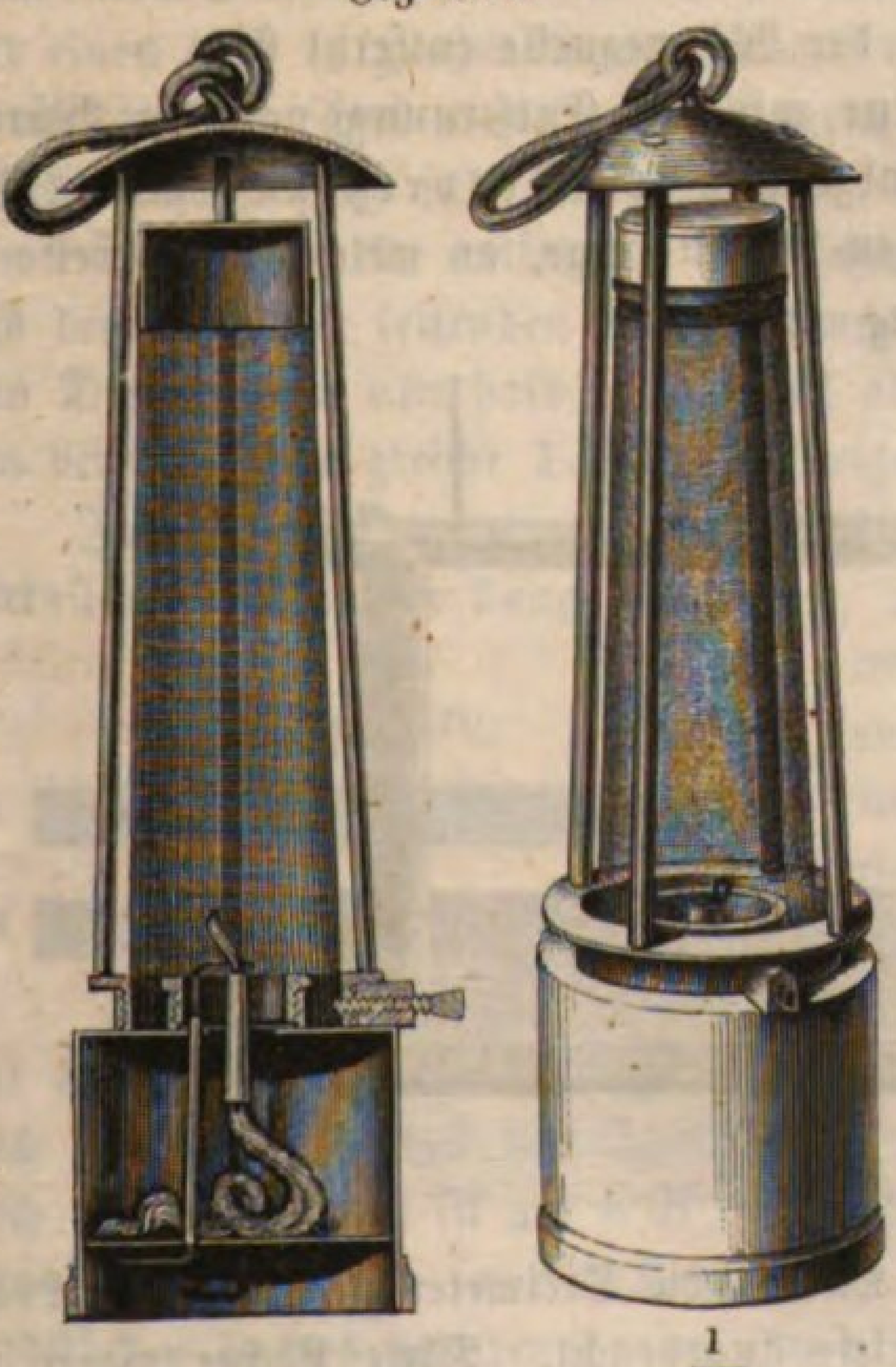
Um zu zeigen, wie ungleich die Fähigkeit verschiedener Körper ist, die Wärme fortzuleiten, kann man den Fig. 576 dargestellten, von *Ingenhouß* angegebenen Apparat anwenden. In die eine Seitenwand eines Kastens von Blech sind mehrere, aus den zu vergleichenden Substanzen verfertigte Stäbchen eingesteckt, welche sämmtlich gleichen Durch-

messer haben müssen und sämmtlich mit einer Schicht von Wachs überzogen sind; wenn man nun kochendes Wasser oder heißes Oel in den Kasten gießt, so wird die Wärme auch mehr oder weniger weit in die Stäbchen vordringen und den Wachsüberzug schmelzen. Nehmen wir an, das eine Stäbchen sei von Kupfer, eines von Eisen, ein drittes von Blei, das vierte von Glas, das letzte von Holz, so wird die Wachsschicht des Kupferstäbchens schon vollständig bis ans Ende geschmolzen sein, während bei allen anderen Stäbchen die Schmelzung des Wachses noch nicht so weit vorgeschritten ist; das Kupfer ist also unter diesen fünf Körpern der beste Wärmeleiter. Für das Eisenstäbchen schreitet die Schmelzung des Wachses rascher voran als für das Bleistäbchen, und während das Wachs auf dem Kupferstabe ganz weggeschmolzen ist, ist die Wachsschicht auf dem Glasstabe nur auf eine sehr unbedeutende Strecke geschmolzen, an dem Holzstäbchen ist aber kaum ein Anfang des Schmelzens wahrzunehmen, das Holz ist also in der That unter diesen Körpern der schlechteste Wärmeleiter.

Unter allen Körpern sind die Metalle die besten, Asche, Seide, Haare, Stroh, Wolle u. s. w., überhaupt die lockereren Körper, die schlechtesten Wärmeleiter.

Im praktischen Leben machen wir von der guten oder schlechten Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener Körper zahlreiche Anwendungen. Gegenstände, die man vor der Erkaltung schützen will, umgiebt man mit schlechten Wärmeleitern; man umwickelt Bäume und Sträuche des Winters mit Stroh, um sie vor dem Erfrieren zu schützen; unsere Kleider halten warm, weil sie aus schlechten Wärmeleitern verfertigt sind. In einem kupfernen Gefäße bringt man unter sonst gleichen Umständen eine Flüssigkeit weit eher ins Kochen als in einem Porzellangefäße von derselben Wanddicke.

Fig. 577.



$\frac{1}{3}$

Hält man ein Drahtgewebe, welches nicht weniger als 400 bis 500 Maschen auf den Quadratzoll enthält, in eine Weingeistflamme, so geht die Flamme nicht durch, sie scheint durch das Drahtnetz wie abgeschnitten. Es ist dies eine Folge davon, daß das Drahtnetz wegen der guten Wärmeleitungsfähigkeit des Metalls so viel Wärme wegführt, daß oberhalb des Drahtnetzes nicht mehr die zum Brennen des Gases nothwendige Wärme vorhanden ist. Darauf gründet sich Davy's Sicherheitslampe, Fig. 577. Es

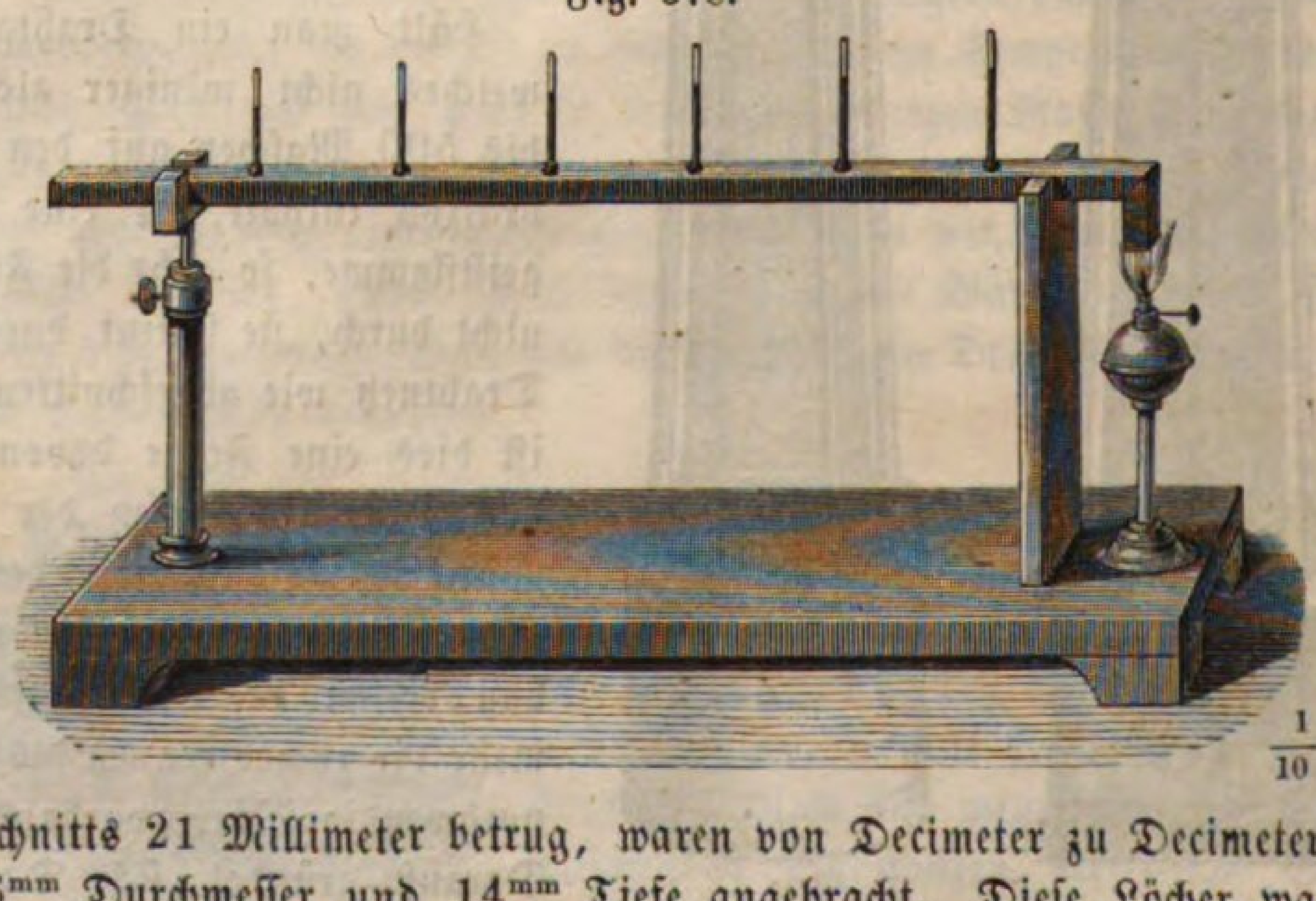
ist dies eine einfache Oellampe, deren Flamme von einem cylindrisch gebogenen Drahtnetz umgeben ist; der obere Theil des Cylinders ist durch einen Deckel von Messingblech geschlossen. Durch dieses Drahtnetz pflanzt sich nun die Verbrennung nicht nach außen fort, wenn man auch in eine mit Kohlenwasserstoff beladene Atmosphäre kommt, wie sie sich öfters in Kohlenbergwerken findet, obgleich das ins Innere des Drahtcylinders eingedrungene Gas mit blauer Flamme brennt.

Wenn das eine Ende eines Metallstabes mit einer constanten Wärmequelle in Berührung gebracht wird, so erwärmt sich der ganze Stab allmälig mehr und mehr, doch wird seine Temperatur am anderen Ende nie so hoch steigen können als an der unmittelbar erwärmten Stelle. Wenn der Stab über eine gewisse Zeit hinaus mit der Wärmequelle in Berührung bleibt, so wird keine fernere Temperaturerhöhung mehr beobachtet, sondern es tritt ein Gleichgewichtszustand ein, bei welchem die Temperatur des Stabes mit der Entfernung von der Quelle immer geringer wird.

Denken wir uns den Stab seiner ganzen Länge nach durch Querschnitte in ganz dünne Scheibchen zerlegt, so wird ein Gleichgewicht der Erwärmung stattfinden, wenn jedes Scheibchen in jedem Augenblicke eben so viel Wärme von der Wärmequelle her aufnimmt als es wieder abgiebt. Nun aber giebt jedes Scheibchen nicht nur Wärme an das nächstfolgende ab, sondern es verliert auch seitwärts Wärme an die Umgebung, jede folgende Schicht des Metallstabes empfängt also offenbar weniger Wärme als die vorhergehende, und somit ist klar, daß die Erwärmung des Stabes an verschiedenen Stellen um so geringer sein wird, je weiter sie von der Wärmequelle entfernt sind.

Diese Abnahme der Temperatur mit der Entfernung von der Wärmequelle übersieht man sehr gut in folgendem von Despretz aufgestellten Versuche, Fig. 578. In einer vierseitigen Metallstange, an welcher jede Seite des

Fig. 578.



Querschnitts 21 Millimeter betrug, waren von Decimeter zu Decimeter Löcher von 6^{mm} Durchmesser und 14^{mm} Tiefe angebracht. Diese Löcher waren mit Quecksilber ausgefüllt, und in dieses waren die zur Beobachtung der Tempe-

ratur dienenden Thermometer eingesenkt. Das eine Ende des horizontal liegenden Metallstabes wurde durch eine Weingeistlampe erwärmt. Es dauerte in der Regel zwei bis drei Stunden, bis die Temperatur des Stabes ihren Gleichgewichtszustand erreicht hatte. Ein Stab von Kupfer gab folgende Resultate:

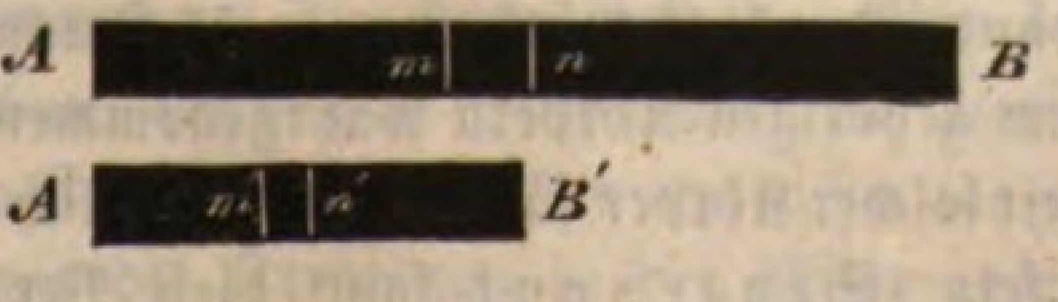
Entfernung der Thermometer von der Wärmequelle.	Erhöhung der Temperatur der Thermometer über die Temperatur der umgebenden Luft.
100mm	66,4°
200	46,3
300	32,6
400	24,5
500	18,6
600	16,2

Man sieht hieraus, daß der Temperaturüberschuß jedes folgenden Thermometers 1,4mal geringer ist als für das vorhergehende; wenn also die Entfernungen von der Wärmequelle in arithmetischer Reihe wachsen, so nehmen die entsprechenden Temperaturerhöhungen in geometrischer Reihe ab. Diese Regelmäßigkeit der Temperaturabnahme findet jedoch bei schlechteren Wärmeleitern nicht mehr Statt.

Nehmen wir an, es gäbe ein anderes Metall, welches die Wärme in einem solchen Verhältnisse schlechter leitet als das Kupfer, daß, wenn man mit einem Stabe von denselben Dimensionen denselben Versuch anstellt, alle Thermometer nur einen halb so großen Temperaturüberschuß zeigten, so würde offenbar der Temperaturüberschuß eines jeden Querschnittes des schlechter leitenden Stabes gerade eben so groß sein, als der Temperaturüberschuß eines doppelt so weit von der Wärmequelle entfernten Querschnittes im Kupferstabe; und wenn man aus dem schlechter leitenden Metalle einen Stab machte, welcher bei sonst gleichen Dimensionen nur halb so lang ist als der Kupferstab, so würden die Enden beider Stäbe gleiche Temperatur zeigen.

In Fig. 579 möge AB den Kupferstab, $A'B'$ den schlechter leitenden Metallstab von halber Länge darstellen; wenn die Enden A und A' mit einer und derselben Wärmequelle in Berührung sind, so werden nach unserer Voraussetzung die Enden B und B' auch gleiche Temperatur haben, wenn die Temperatur an allen Stellen der beiden Stäbe stationär geworden ist.

Fig. 579.



Nehmen wir an, der Querschnitt n' liege halb so weit von B' als n von B, so werden auch die Temperaturen der Querschnitte n und n' gleich sein; weil aber nB noch einmal so groß ist als $n'B'$, so wird das Ende nB des Kupferstabes in gleicher Zeit doppelt so viel Wärme an die Umgebung ausstrahlen als das Endstück $n'B'$ des anderen Stabes; in gleichen Zeiten muß also dem Ende nB des Kupferstabes doppelt so viel Wärme zugeführt werden als dem Ende $n'B'$

des anderen Stabes. Wenn ferner die Länge *mn* doppelt so groß ist als *m'n'*, so werden auch die Schichten *m* im einen und *m'* im anderen Stabe gleiche Temperatur haben; und wenn in gleichen Zeiten durch das Stück *mn* des Kupferstabes dieselbe Wärmemenge hindurchginge wie durch das Stück *m'n'* des anderen Stabes, so würde das Wärmeleitungsvermögen des Kupfers offenbar doppelt so groß sein als das des anderen Metalls. Nun geht aber durch das Stück *mn* des Kupferstabes in derselben Zeit doppelt soviel Wärme hindurch als durch das Stück *m'n'* des anderen Stabes, weil ja das Ende *nB* des Kupferstabes in gleichen Zeiten doppelt so viel Wärme ausstrahlt als das Ende *n'B'*; folglich würde für unseren Fall die Wärmeleitungsfähigkeit des Kupfers 4mal so groß sein als die des anderen Metalls.

Wenn wir diese Betrachtungsweise allgemeiner machen, so kommen wir zu dem Schlusse, daß für Stäbe verschiedener Metalle von gleichen Dimensionen die Wärmeleitungsfähigkeit sich verhält wie das Quadrat der Entfernungen von der Wärmequelle, in welchen man unter sonst gleichen Umständen gleiche Temperaturüberschüsse beobachtet.

Auf diese Weise hat Despretz folgende Verhältnißzahlen für das Wärmeleitungsvermögen der Metalle gefunden:

Gold.	1000	Eisen	374
Platin	981	Zink	363
Silber. . . .	973	Zinn	303
Kupfer . . .	898	Blei	180.

Man nimmt gewöhnlich für die Leitungsfähigkeit des Marmors den Werth 23, für Porzellan den Werth 12 u. s. w.; doch ist die Richtigkeit dieser Werthe sehr zweifelhaft, denn die oben angeführte Bestimmungsmethode läßt sich hier nicht mehr mit Zuversicht anwenden, weil bei diesen sehr schlechten Wärmeleitern der Temperaturüberschuß nicht nach dem Gesetze abnimmt, wie dies bei guten Wärmeleitern der Fall ist.

Wenn die eben angedeutete Bestimmungsmethode anwendbar sein soll, so muß das Ausstrahlungsvermögen der Oberflächen stets dasselbe sein; man überzieht deshalb die zum Versuche bestimmten Metallstäbe mit Kienruß.

234 **Wärmeleitung in krystallisirten Körpern.** Die ungleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes in doppeltbrechenden Krystallen, die nach verschiedenen Richtungen ungleiche Ausdehnung durch Erwärmung, welche man in krystallisirten, nicht zum regulären System gehörigen Körpern wahrgenommen hat, ließen erwarten, daß die Leitungsfähigkeit solcher Körper für die Wärme gleichfalls nicht nach allen Richtungen dieselbe sei. Senarmont fand diese Vermuthung durch zahlreiche Versuche bestätigt (Pogg. Ann. LXXIV. u. LXXV.). Die zu untersuchenden Krystallplatten waren mit einer dünnen Schicht von Wachs überzogen und wurden von der Mitte aus erwärmt. Die zweckmäßigste Erwärmungsmethode bestand darin, daß die Platte in der Mitte mit einem kleinen Loche versehen, auf das etwas conische, gegen 1mm dicke Ende eines gut leitenden Metalldrahtes (etwa eines Silberdrahtes) aufgesteckt und dann das

andere horizontal umgebogene Ende dieses Drahtes durch eine Flamme erwärmt wird. Natürlich muß die Krystallplatte durch einen Schirm vor den Strahlen der Flamme geschützt sein. Die Platten hatten höchstens 38mm Durchmesser und waren 1 bis 2mm dick.

Wenn der Wachsüberzug der Platte schmilzt, so zieht er sich auf der Platte zurück, wie wenn er dieselbe nicht mehr benetzte, und bildet einen kleinen Wall, welcher die isotherme Linie der Schmelztemperatur des Wachses so scharf darstellt, daß man nach dem Erkalten die Dimensionen desselben messen kann.

Auf Platten von Metall, von Glas, von Krystallen, welche zum regulären Krystallsystem gehören und auf Platten optisch einaxiger Krystalle, welche senkrecht zur Axe geschnitten sind, bildet dieser Wall einen Kreis; bei optisch einaxigen Krystallen aber, welche parallel mit der Axe geschnitten sind, bildet er eine Ellipse, deren große Axe meist in der Richtung der Hauptkrystallaxe liegt, mögen die Krystalle nun optisch positiv oder negativ sein. So fällt z. B. sowohl beim Kalkspath als auch beim Quarz die Richtung der größten Leitungsfähigkeit für die Wärme mit der Säulenaxe zusammen. Die kleine Axe der besprochenen Ellipse verhält sich zur großen beim Kalkspath wie 1 zu 1,12, beim Quarz wie 1 zu 1,31.

Für Platten, welche aus optisch zweiaxigen Krystallen gebildet sind, bildet der Wachswall fast immer eine Ellipse. Auf einer durch Spaltung erhaltenen Gypsplatte erhält man z. B. eine Ellipse, deren kleine Axe sich zur großen verhält wie 1 zu 1,23. Solche Gypsplatten eignen sich besonders gut zur Wiederholung des Senarmont'schen Versuchs.

Dadurch, daß Platten aus demselben Krystall in verschiedenen Richtungen geschnitten wurden, war es möglich, die Gestalt der isothermen Flächen zu ermitteln. Das Hauptresultat der Untersuchung Senarmont's war, daß diese isothermen Flächen bei optisch zweiaxigen Krystallen Ellipsoide mit drei ungleichen Axen sind, welche bei optisch einaxigen Krystallen in Umdrehungsellipsoide, bei homogenen unkrystallisirten Körpern aber und bei Krystallen des regulären Systems in Kugeln übergehen.

Wärmeleitungsfähigkeit der Flüssigkeiten und Gase. In den Flüssigkeiten verbreitet sich die Wärme meistens durch Strömungen, welche dadurch entstehen, daß die erwärmten Theilchen wegen ihrer geringeren Dichtigkeit immer in die Höhe steigen. Man kann diese Strömungen leicht sichtbar machen, wenn man Sägespäne ins Wasser wirft, welches sich in einem Glasgefäße befindet, und dann von unten her langsam erwärmt, Fig. 580 (a. f. S.). Man sieht, wie die Strömung in der Mitte aufwärts, an der Seite abwärts gerichtet ist. Wenn man eine Flüssigkeit von oben her erwärmt, so daß das hydrostatische Gleichgewicht nicht gestört wird, so kann sich die Wärme nur in derselben Weise durch die Masse der Flüssigkeit verbreiten, wie dies bei festen Körpern der Fall ist, nämlich durch Leitung, indem die Wärme von einer Schicht zur anderen übergeht. In solchen Fällen verbreitet sich die Wärme aber nur sehr langsam durch die Masse der Flüssigkeit, die Flüssigkeiten sind also sehr schlechte Wärmeleiter. 235

Um sich von der schlechten Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten zu überzeugen, kann man den Fig. 581 abgebildeten Versuch anstellen. In die Seitenwand eines aus dünnem Blech verfertigten Gefäßes wird mitelst eines Korkes

Fig. 580.

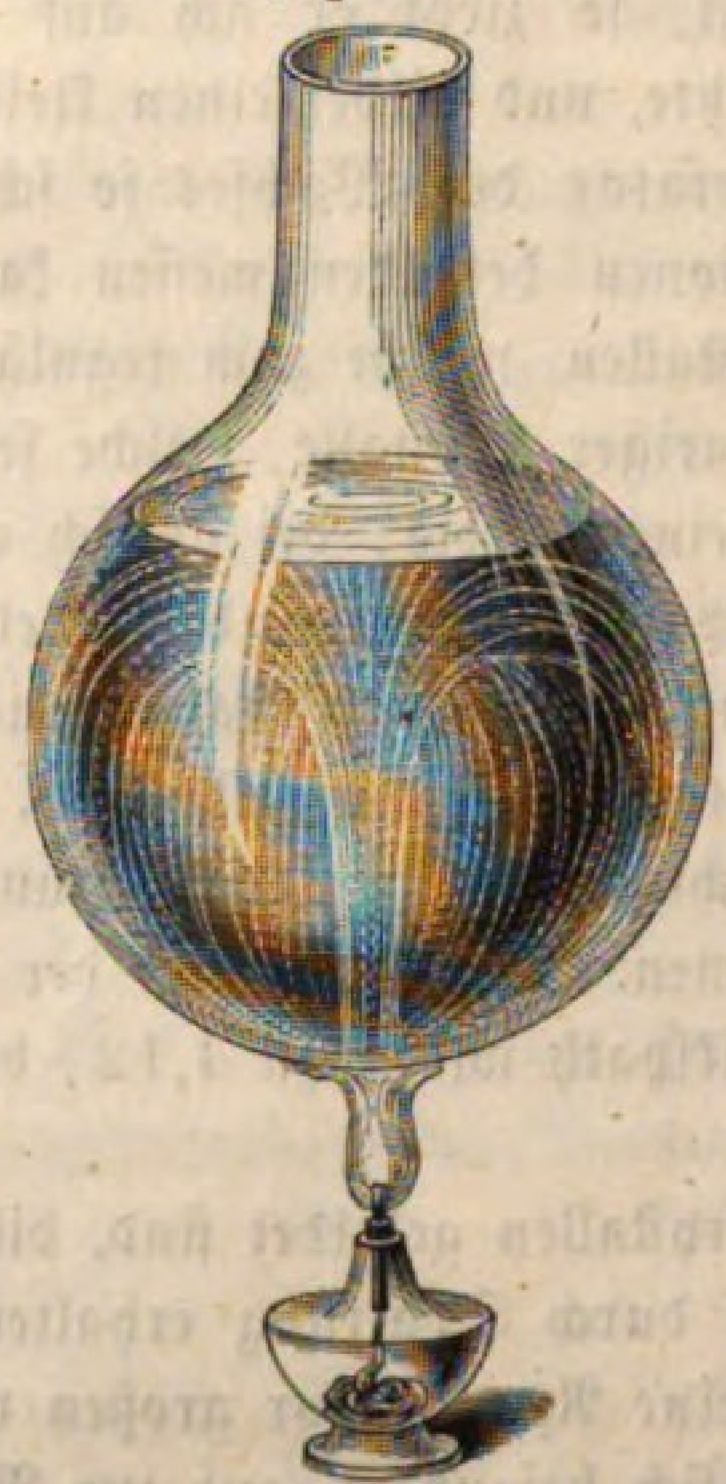
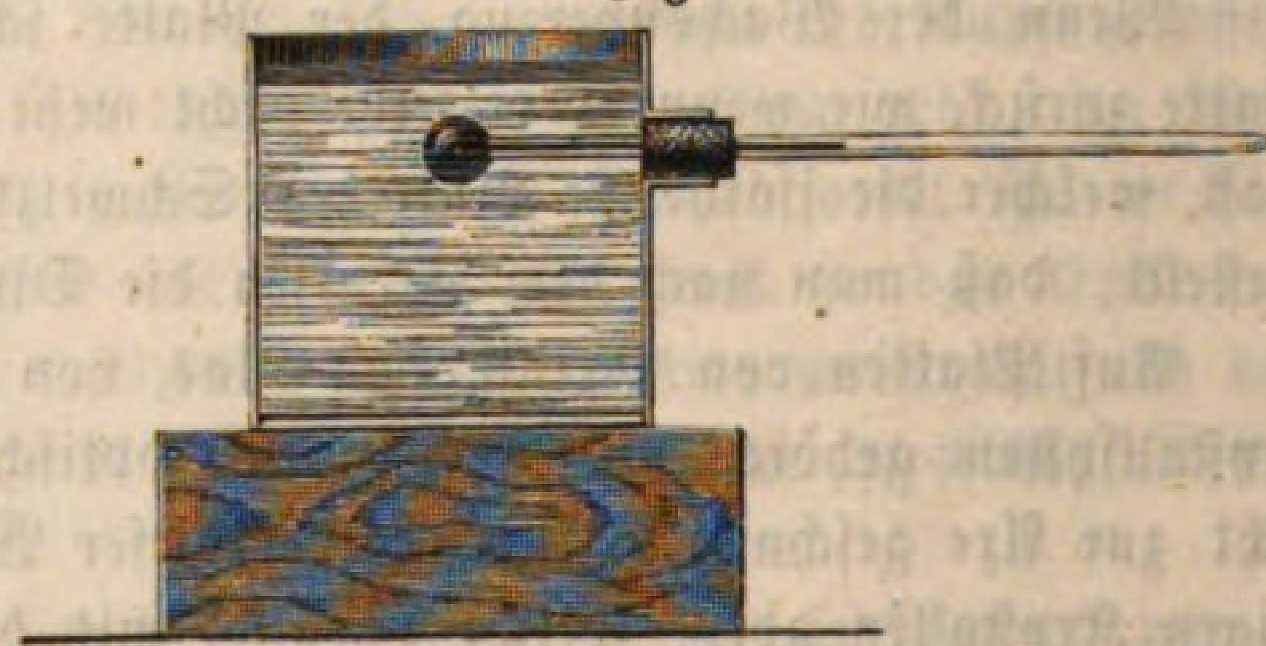


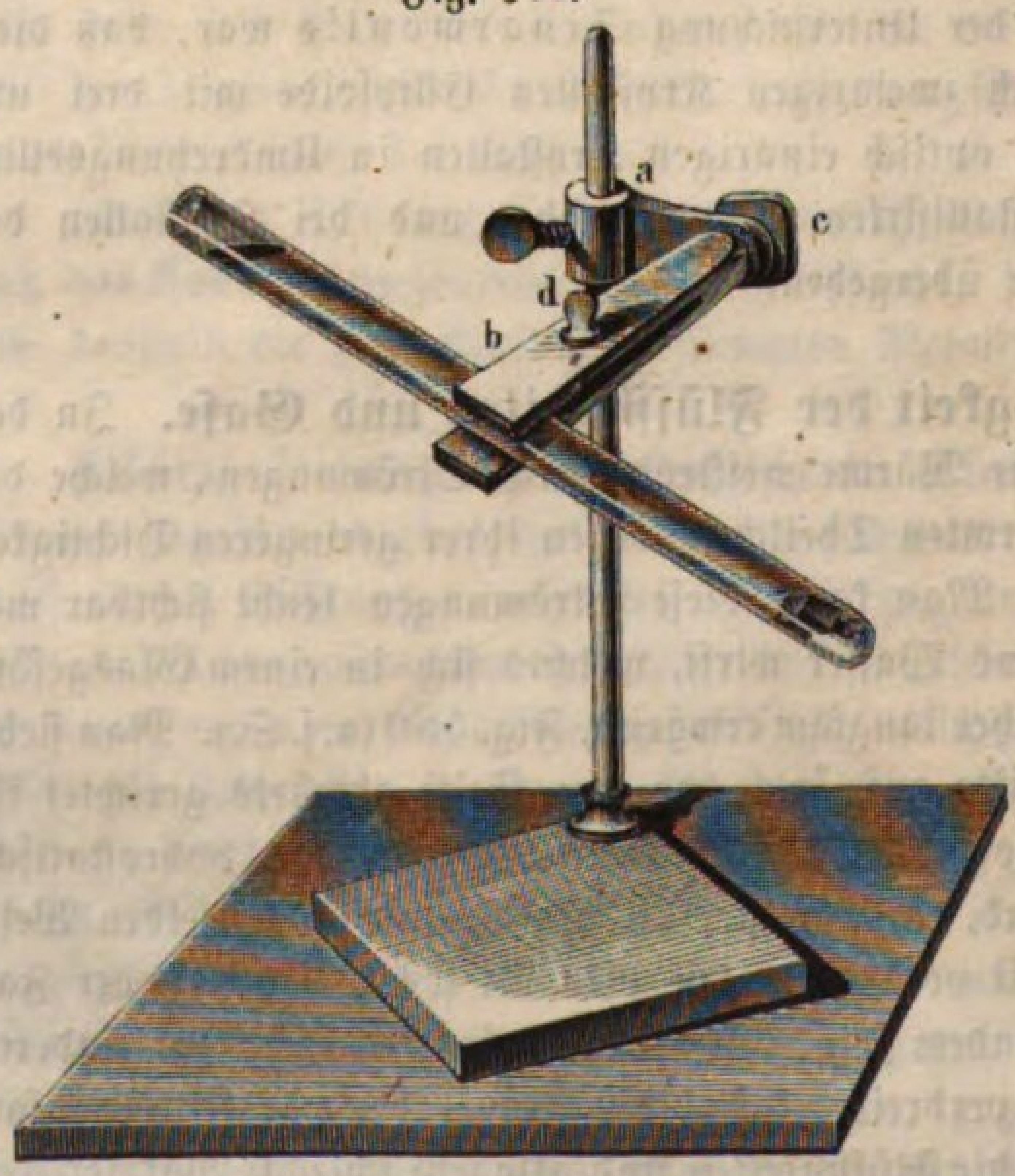
Fig. 581.



auf der Seite ein Thermometer eingesetzt und dann das Gefäß so weit voll Wasser gegossen, daß sich die Thermometerkugel 1 bis 2 Linien unter dem Wasserspiegel befindet. Gießt man nun heißes Oel auf das Wasser, oder auch etwas Weingeist, den man anzündet, so wird es doch eine geraume Zeit dauern, bis das Thermometer nur um 1° steigt.

Wenn man in ein mit möglichst kaltem Wasser gefülltes Reagenzröhrchen ein Stück Eis wirft, welches mit etwas Draht umwickelt ist, damit es zu Boden sinkt, so kann man in der oberen Hälfte des schräg gehaltenen Röhrchens, Fig. 582, das Wasser mittelst einer Weingeistlampe ins Kochen bringen, ohne daß unten ein merkliches Wegschmelzen des Eises stattfindet.

Fig. 582.



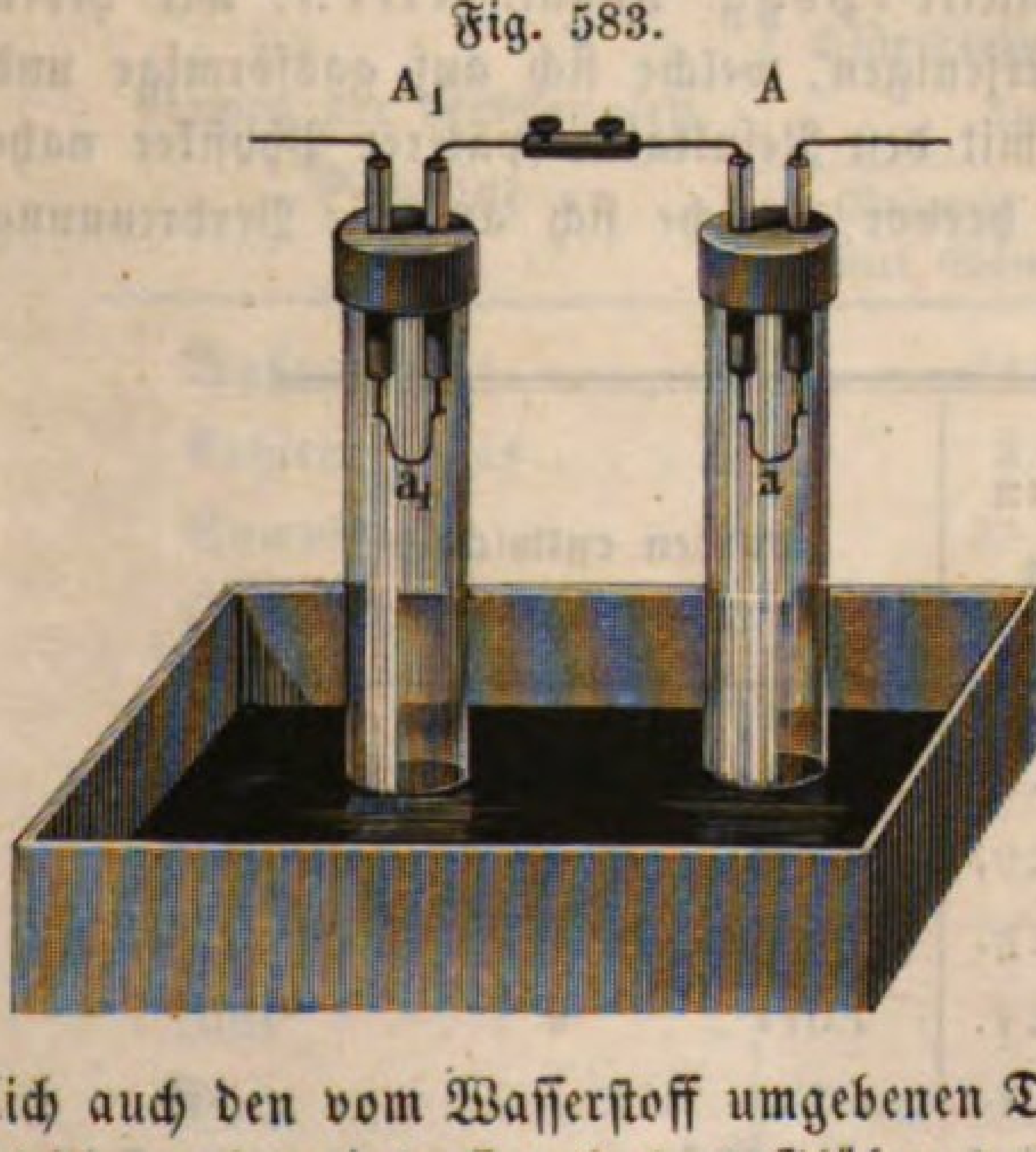
Despretz hat die Leitungsfähigkeit des Wassers bestimmt, indem er Wassersäulen von 1 Meter Höhe und 0,2 bis 0,4 Meter Durchmesser von oben her durch beständige Erneuerung von heißem Wasser erwärmte. Es dauerte ungefähr 30 Stunden, bis die Temperatur der Wasser säule an allen Stellen stabil wurde. Aus diesen Versuchen folgt, daß die Wärmeleitungsfähigkeit des

Wassers ungefähr 95mal geringer ist als die des Kupfers; in der obigen Tabelle müßte also die Leitungsfähigkeit des Wassers durch 9 bis 10 ausgedrückt werden.

Die Luft und die Gase überhaupt sind ebenfalls sehr schlechte Wärmeleiter, doch läßt sich ihr Wärmeleitungsvermögen durch Thermometer, die man etwa in verschiedenen Schichten der zu untersuchenden Luftmasse anbringen wollte, wegen der Wärmestrahlung nicht ermitteln. Daß jedoch die Gase überhaupt, und die Luft insbesondere schlechte Wärmeleiter sind, geht daraus hervor, daß Körper, welche von allen Seiten von Luftschichten umgeben sind, nur sehr langsam erwärmt und erkaltet werden können, wenn nur der Wechsel der Luftschichten verhindert wird. Dadurch erklärt sich die Wirksamkeit der doppelten Fenster und der doppelten Thüren, um ein Zimmer warm zu halten. Das schlechte Leitungsvermögen lockerer Körper, wie Stroh, Wolle u. s. w., rührt größtentheils daher, daß die zahllosen Zwischenräume mit Luft ausgefüllt sind. Solche Körper, von denen wir sagten, daß sie warm halten, wie z. B. unsere Kleider, Stroh u. s. w., sind nicht selbst warm, ihre Wirkung beruht nur auf ihrer schlechten Wärmeleitungsfähigkeit; wenn man Eis in solche Körper einhüllt, so verhindern sie das Schmelzen desselben, weil sie die äußere Wärme abhalten.

Die Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener Gase ist übrigens sehr ungleich, wie dies schon aus den von Dulong und Petit gemachten Beobachtungen hervorgeht, daß ein erhitzter Körper in Wasserstoffgas schneller erkaltet als in atmosphärischer Luft. Für die ungleiche Leitungsfähigkeit der Gase spricht auch die von Grove zuerst beobachtete Thatsache, daß ein in atmosphärischer Luft galvanisch glühender Platindraht bei gleicher Stromstärke in einer Atmosphäre von Wasserstoffgas dunkel bleibt. Zur Wiederholung dieses Versuchs kann man sich des Fig. 583 abgebildeten Apparates bedienen, welcher wohl ohne weitere Erklärung verständlich ist. Die eine der Glasröhren enthält Wasserstoff, die andere atmospärische Luft oder Kohlensäuregas. Die Gase sind durch Quecksilber abgesperrt; *a* und *a'* sind zwei vollkommen gleich lange und gleich dicke Platindrähte. Wenn man einen allmälig verstärkten Strom durch diese Drähte hindurchsendet, so kommt zuerst der von Kohlensäure umgebene ins Glühen, während der andere ganz dunkel bleibt. Bringt man bei gesteigerter Stromstärke endlich auch den vom Wasserstoff umgebenen Draht ins Glühen, so ist es doch ungleich weniger intensiv als das Glühen des anderen Drahtes.

Fig. 583.



Fünftes Capitel.

Die Quellen der Wärme.

236 **Verbrennungswärme.** Zu den wichtigsten Wärmequellen gehören ohne Zweifel die chemischen Verbindungen und unter diesen nimmt die Verbrennung, d. h. die unter Licht- und Wärmeentwickelung vor sich gehende rasche Oxydation (Verbindung mit Sauerstoff) der Körper die bedeutendste Stellung ein.

Versuche über die Verbrennungswärme wurden bereits von Lavoisier und Laplace, von Rumford und von Despretz angestellt. Eine sehr umsichtige Arbeit über diesen Gegenstand führte Dulong aus; die wichtigsten Resultate derselben wurden erst nach dem Tode dieses für die Wissenschaft leider zu früh verstorbenen Physikers publicirt (Pogg. Annal. XLV.); wir heben aus denselben, mit Uebergehung derjenigen, welche sich auf gasförmige und flüssige Körper beziehen und welche mit den Resultaten späterer Physiker nahe übereinstimmen, hier nur diejenigen hervor, welche sich auf die Verbrennung fester Körper beziehen.

Bei der Verbindung von 1 Liter Sauerstoff mit	wurden entwickelt
Eisen	6 216 Wärmeeinheiten,
Zinn	6 509 »
Kupfer	3 526 »
Zink	7 577 »

wo unter einer Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge zu verstehen ist, welche die Temperatur von 1 Gramm Wasser um 1° C. erhöht.

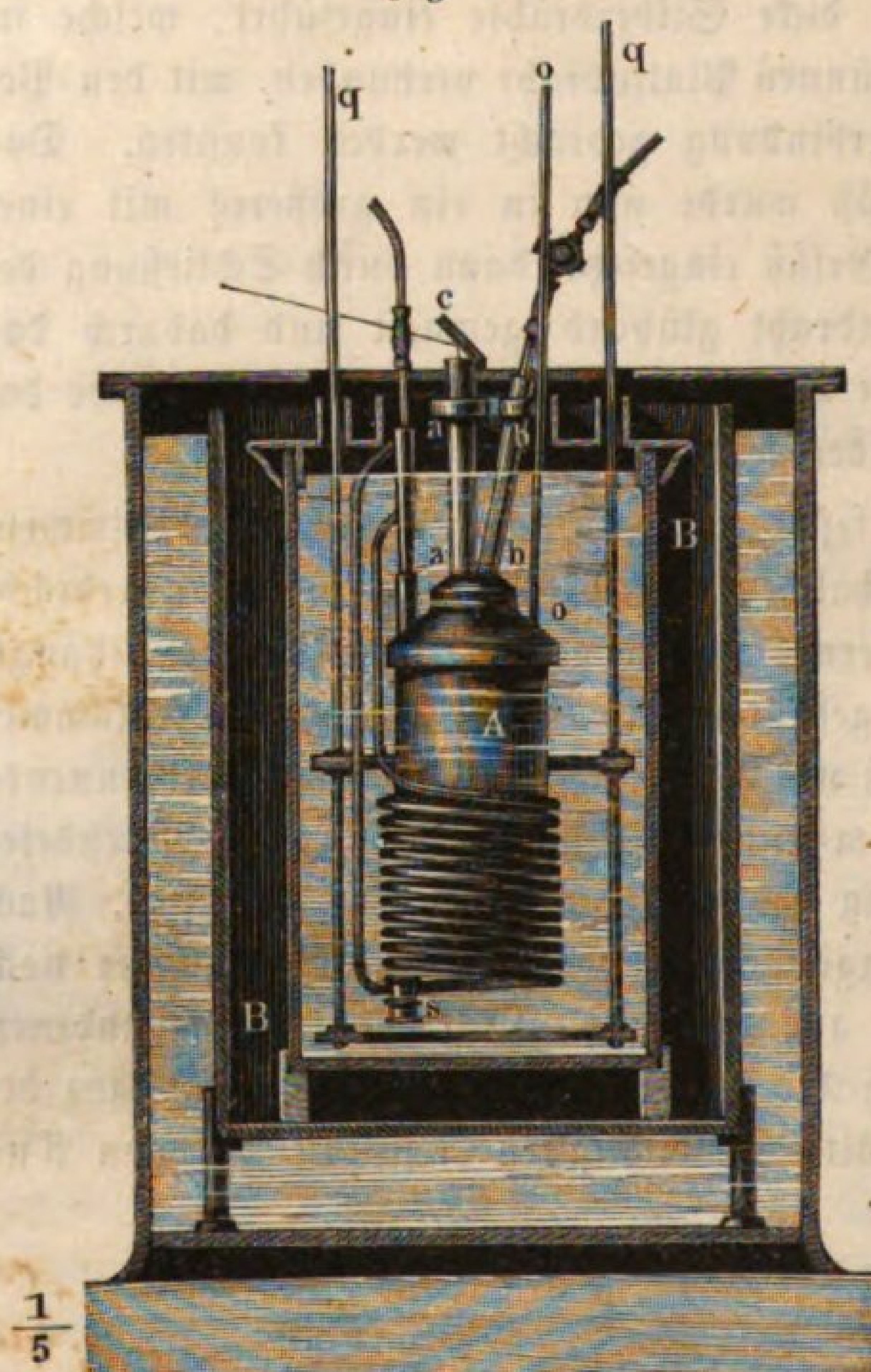
Andrews hat zur Ermittelung der Verbrennungswärme folgende Methode angewandt (Pogg. Annal. LXXV): Das zu verbrennende Gas wurde mit der zu seiner Verbrennung nöthigen Menge Sauerstoff gemischt und mit diesem Gasgemisch ein cylindrisches Gefäß von Kupferblech gefüllt, welches 380 Cubikcentimeter Inhalt hatte. In dieses durch eine Schraube verschlossene Gefäß waren elektrisch isolirt zwei dicke Silberdrähte eingeführt, welche im Inneren des Gefäßes durch einen dünnen Platindraht verbunden, mit den Polen einer galvanischen Säule in Verbindung gebracht werden konnten. Das mit dem Gasgemenge gefüllte Gefäß wurde nun in ein größeres mit einer gewogenen Menge Wasser gefülltes Gefäß eingesetzt, dann durch Schließung der galvanischen Kette der feine Platindraht glühend gemacht und dadurch das Gasgemenge verpufft und endlich die Temperaturerhöhung bestimmt, welche dadurch im Wasser hervorgebracht worden war.

Um die Verbrennungswärme fester und flüssiger Körper zu bestimmen, wurden dieselben zunächst in ein Schälchen von Platin oder Porzellan gebracht und dann mit diesem in ein kupfernes Gefäß von 4 Liter Inhalt gehängt, welches mit reinem Sauerstoffgas gefüllt war. Diese Verbrennungskammer wurde sodann in ein größeres Gefäß mit Wasser eingesetzt, der zu verbrennende Körper durch den galvanischen Strom entzündet und endlich nach vollendeter Verbrennung die Temperaturerhöhung des umgebenden Wassers gemessen. Nach beendigtem Versuche wurde die Menge des in der Verbrennungskammer noch übrigen Sauerstoffs bestimmt und aus der Quantität des verschwundenen Sauerstoffs die Quantität der durch die Verbrennung oxydirten Substanz berechnet. Die folgende Tabelle enthält die wichtigsten Resultate der von Andrews angestellten Versuche.

Namen der verbrannten Substanz.	Wärmeeinheiten, welche entwickelt wurden durch die Verbindung von	
	1 Gramm Substanz mit Sauerstoff.	der Substanz mit 1 Gramm Sauerstoff.
Wasserstoffgas	33 808	4 226
Kohlenoxydgas	2 431	4 255
Sumpfgas	13 108	3 277
Oelbildendes Gas . .	11 942	3 483
Kohle	7 678	2 879
Schwefel	2 307	2 307
Alkohol (0,796 sp. Gew.)	6 850	3 282
Phosphor	5 747	4 509
Zink	1 301	5 366
Eisen	1 181	4 134
Zinn	—	4 230
Kupfer	600	2 394

Die umfassendste Arbeit über Verbrennungswärme haben Favre und Silbermann ausgeführt (Ann. de chim. et de phys. Sér. III. Tom. 34). Das Calorimeter, dessen sie sich bedienten, war dem von Dulong angewandten ähnlich; das Wesentlichste des Apparates ist in Fig. 584 dargestellt. Die Verbrennungskammer *A* befindet sich in einem cylindrischen mit Wasser gefüllten Gefäße. Das Rohr *o* geht im Inneren der Verbrennungskammer fast bis auf den Boden derselben herab und dient, um den zur Verbrennung nöthigen Sauerstoff zuzuführen. In dem Deckel der Verbrennungskammer sind zwei Röhren *a* und *b* eingesetzt. Die eine *a* ist durch eine starke Glasplatte geschlossen, durch welche hindurch man den Gang der Verbrennung beobachten kann; damit dies auch von der Seite her geschehen könne, ist dicht über dem Rohre *a* ein kleiner Spiegel *c* angebracht. In das Rohr *b* wird dasjenige Rohr eingeführt, durch welches die zu verbrennenden Gase in die Verbrennungskammer einströmen. Das Rohr *b* wird verschlossen, wenn feste oder flüssige Körper verbrannt werden sollen.

Fig. 584.



Für Flüssigkeiten und feste Körper werden je nach ihrer Individualität verschiedene Verbrennungsvorrichtungen angewandt. Für die meisten Flüssigkeiten z. B. das Fig. 585 im doppelten Maßstabe der Fig. 584 dargestellte Lämpchen: ein an dem Deckel der Verbrennungskammer zu befestigender Metallring trägt zwei Platindrähte, an welchen dann das Lämpchen hängt. Zur Verbrennung des Schwefels dient das Porcellanschälchen, Fig. 586; zur Verbrennung der Kohle die Platinhülse, Fig. 587 u. s. w. Der Boden dieses letzteren mit Kohlenstückchen gefüllten Behälters ist durchlöchert und bildet also gleichsam den Rost des kleinen Herdes.

Fig. 585.



Fig. 586.

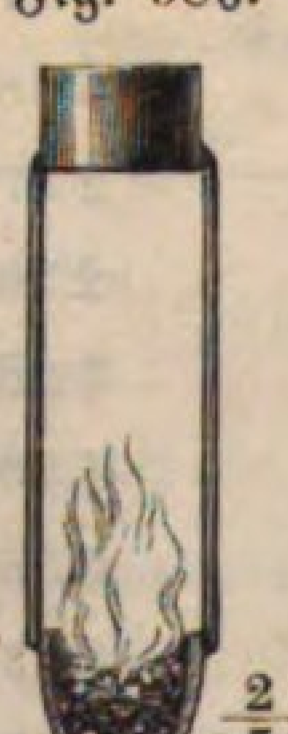


Fig. 587.



Die Entzündung geschieht außerhalb des Apparates. Der brennende Körper

wird rasch in die Verbrennungskammer eingeführt und diese dann in das Calorimeter eingesetzt. Die gasförmigen Producte entweichen durch ein Schlangenrohr, welches verschlossen wird, wenn solche nicht gebildet werden.

An den Stäbchen q sind zwei Ringe von Metallblech befestigt, deren innerer Durchmesser groß genug ist, um sie über das Schlangenrohr sammt seinen Zuleitungsröhren zu schieben. Diese Scheiben werden auf- und abbewegt, um eine gleichförmige Vertheilung der Wärme im Kühlwasser zu erzielen.

Um zu verhindern, daß das Calorimeter von außen Wärme empfängt, oder nach außen Wärme verliert, ist dasselbe in ein zweites cylindrisches Gefäß B eingesetzt und der Zwischenraum zwischen beiden mit einem schlechten Leiter ausgefüllt. Das Gefäß B stand endlich in einem dritten mit Wasser von der Temperatur der Umgebung gefüllten Behälter.

Die Temperatur des Kühlwassers im Calorimeter wurde vor dem Beginn und nach der Beendigung der Verbrennung abgelesen und daraus dann die Zahl der Wärmeeinheiten (Calorien) berechnet, welche durch Verbrennung von 1 Gramm der Substanz entwickelt werden. Auf diese Weise ergab sich, daß

durch Verbrennung von 1 Gramm

Wasserstoffgas	34 462	Wärmeeinheiten
Kohlenoxydgas	2 403	»
Holzkohle	8 080	»
Schwefelkohlenstoff	3 400	»

entwickelt werden.

Der hier angegebene Werth für die Verbrennungswärme der Kohle ist bedeutend größer, als ihn frühere Beobachter gefunden haben. Es rührt dies daher, daß die Kohle nicht vollständig zu Kohlensäure, sondern zum Theil nur zu Kohlenoxydgas verbrennt. Favre und Silbermann haben nun die Menge des neben der Kohlensäure gebildeten Kohlenoxydgases bei jedem Versuche gemessen und die Wärmemenge, welche durch Verbrennung dieses Kohlenoxydgases frei werden würde, zu der im Calorimeter wirklich beobachteten hinzuzählend, das obige Resultat gefunden.

Bei Verbrennung allotroper Modificationen derselben Substanz werden nicht gleiche Wärmemengen frei. So ist die Verbrennungswärme für

		Specif. Wärme.
Holzkohle	8080 . . .	0,2415
Gaskohle	8047 . . .	0,2036
Natürlicher Graphit .	7797 . . .	0,2019
Graphit aus Hochöfen	7762 . . .	0,1970
Diamant	7770 . . .	0,1469.

Die letzte Columne dieser kleinen Tabelle enthält die specifische Wärme der verschiedenen allotropen Verbindungen des Kohlenstoffs nach Regnault; man sieht, daß ihre Verbrennungswärme mit ihrer specifischen Wärme abnimmt.

Für verschiedene molekulare Zustände des Schwefels fanden Favre und Silbermann folgende Werthe der Verbrennungswärme:

Schwefel, 7 Jahr vor dem Versuch geschmolzen . .	2 217
» aus Schwefelkohlenstoff krystallisirt . . .	2 226
» natürlicher, schön krystallisirt	2 221
» geschmolzen und mehrere Stunden nachher verbrannt	2 260.

237 **Verbrennungswärme der Kohlenwasserstoff-Verbindungen.** Favre und Silbermann haben die Verbrennungswärme einer großen Reihe von Körpern bestimmt, welche aus Kohlenstoff und Wasserstoff oder aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff zusammengesetzt sind. Für Körper, welche der chemischen Formel $(C_2H_2)_n$ entsprechen, fanden die genannten Physiker folgende Resultate:

Durch die Verbrennung von 1 Gramm

C_4H_4, ölbildendem Gas	wurden	entwickelt	11 858	W.-E.
$C_{10}H_{10}$, Amilen	»	»	11 491	»
$C_{20}H_{20}$, Paramilen	»	»	11 363	»
$C_{40}H_{40}$, Metamilen	»	»	10 928	»

Je höher also in der Formel $(C_2H_2)_n$ der Factor n steigt, desto mehr nimmt die Verbrennungswärme der Verbindung ab.

Nach einem von Dulong aufgestellten Gesetze soll die Verbrennungswärme eines zusammengesetzten Körpers gleich sein der Summe der Wärmemengen, welche die Verbrennung seiner Bestandtheile für sich allein liefern würde. Für ölbildendes Gas ist dies in der That der Fall. 1 Gramm ölbildendes Gas ist zusammengesetzt aus $^6/_7$ Gramm Kohlenstoff und $^1/_7$ Gramm Wasserstoff, es entwickelt aber die Verbrennung von

$^6/_7$ Gr. Kohlenstoff . .	$^6/_7 \cdot 8\,080 = 6\,926$	W.-E.
$^1/_7$ Gr. Wasserstoff . .	$^1/_7 \cdot 34\,462 = 4\,923$	»
Summa	11 849	W.-E.,

was mit der durch den Versuch gefundenen Zahl 11 858 sehr nahe übereinstimmt. Wäre das angeführte Dulong'sche Gesetz allgemein gültig, so müßten alle nach der Formel $(C_2H_2)_n$ zusammengesetzten Körper gleiche Verbrennungswärme haben, was den obigen Beobachtungsresultaten zufolge nicht der Fall ist.

Die Verbrennung von 1 Gramm

C^4H^5O, Schwefeläther, entwickelte . . .	9 028	W.-E.
$C^{10}H^{11}O$, Amyläther » . . .	10 188	»

Die Verbrennung der verschiedenen Alkoholarten gab folgende Resultate:

$C_2H_2 + 2HO$,	Holzgeist . . .	5 307	W.-E.
$2(C_2H_2) + 2HO$,	Weingeist . . .	7 184	»
$5(C_2H_2) + 2HO$,	Amylalkohol . .	8 959	»
$16(C_2H_2) + 2HO$,	Aethalalkohol . .	10 629	»

Von den Säuren, welchen die Formel „$(C_2H_2) + O_4$ entspricht, wurden unter anderen untersucht:

$C_2H_2 + O_4$,	Ameisensäure . . .	2 091	W.-E.
$2(C_2H_2) + O_4$,	Essigsäure	3 505	»
$4(C_2H_2) + O_4$,	Buttersäure	5 647	»
$5(C_2H_2) + O_4$,	Baleriansäure . . .	6 439	»

Mit diesen Säuren sind eine Reihe von zusammengesetzten Aetherarten isomer, für welche sich folgende Werthe der Verbrennungswärme ergaben:

$2(C_2H_2) + O_4$,	Ameisenholzäther . .	4 197	W.-E.
$4(C_2H_2) + O_4$,	Essigäther	6 293	»
$5(C_2H_2) + O_3$,	Butterholzäther . .	6 798	»

Vergleicht man diese Zahlen mit den vorhergehenden, so ergiebt sich, daß verschiedene Körper gleicher Zusammensetzung keineswegs gleiche Wärmemengen geben.

Thierische Wärme. Die Temperatur der Blutwärme aller Thiere ist 238
fast immer von der Temperatur des Mittels verschieden, in welchem sie leben. Die Thiere der Polarländer sind stets wärmer als das Eis, auf welchem sie leben, in den Aequatorialgegenden aber sind sie kälter als die glühende Luft, welche sie einathmen. Die Vögel haben nie die Temperatur der Luft, die Fische nie die Temperatur des Wassers, von welchem sie umgeben sind; der thierische Körper hat also seine eigenthümliche Wärme, er muß sie also auch fortwährend erzeugen können. Wir wollen nun der Reihe nach folgende Fragen näher untersuchen: 1) Welches ist die Temperatur des Thierkörpers? 2) Welches sind die Wärmequantitäten, welche er in einer gegebenen Zeit erzeugen kann? 3) Wodurch wird diese Wärme erzeugt?

Die innere Wärme des Menschen scheint für alle Organe dieselbe, und zwar derjenigen gleich zu sein, auf welche ein kleines Thermometer steigt, wenn man die Kugel unter die Zunge bringt und den Mund schließt, bis es nicht mehr steigt; diese Temperatur ist 37° C. Alter und Klima, Gesundheit oder Krankheit können diese Temperatur nur unbedeutend ändern. John Davy hat auf seiner Reise von England nach der Insel Ceylon in dieser Beziehung eine Reihe merkwürdiger Beobachtungen gemacht. Indem er unter verschiedenen Breiten die Temperatur mehrerer Leute der Schiffsmannschaft bestimmte, fand er, daß sie in der heißen Zone allerdings etwas stieg; diese Temperaturzunahme war aber unbedeutend, sie betrug nicht ganz 1°. Davy bestimmte auch die Temperatur der Eingeborenen von Ceylon, der Hottentotten, der Neger auf Madagascar und Mozambique, der Albinos, der Malaien, der

Buddhapriester, welche nur Gemüse, und der Vaidas, welche nur Fleisch essen. Alle diese Temperaturen waren nur wenig verschieden; die niedrigste von allen war die von zwei Hottentotten auf dem Cap der guten Hoffnung, sie betrug 35,8°; die höchste war die von zwei europäischen zu Colombo geborenen Kindern, von denen das eine 8, das andere 12 Jahre alt war, sie betrug 38,9°.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate der von Davy an Thieren angestellten Beobachtungen:

Namen der Thiere.	Ihre Temperatur	Temperatur der Umgebung	Beobachtungsort.
Säugethiere:			
Affe	+39,7° C.	30° C.	Colombo
Gemeiner Hase	37,8	26,5	»
Tiger	37,2	26,5	»
Hund	39,0	26,5	Candy
Gemeine Katze	38,3	15	London
» »	38,9	26	Candy
Pferd (arabische Race)	37,5	26	»
Ochse	38,9	Im Sommer	Edinburg
»	38,9	26	Candy
Elephant	37,5	26,7	Colombo
Vögel:			
Habicht	37,2	25,3	Colombo
Papagay	41,1	24	Candy
Taube	42,1	15,5	London
Gemeines Huhn	42,5	4,5	Edinburg
» »	43,3	25,5	Colombo
Gans	41,7	25,5	»
Kaltblütige Thiere:			
Schildkröte	28,9	26	Im Meere 2° 27′ n. B.
Geometrische Schildkröte	16,9	16	Cap d. guten Hoffnung
Schlange	32,2	28,3	Colombo
Hayfisch	25	23,7	Im Meere 8° 23′ n. B.
Forelle	14,4	13,3	Edinburg
Auster	27,8	27,8	Colombo

Man sieht aus dieser Zusammenstellung, daß die Blutwärme der Vögel größer ist als die aller anderen Thiere; die Säugethiere nehmen den zweiten

Rang ein. Bei diesen beiden Thierclassen ist die Blutwärme von der Temperatur der Umgebung unabhängig, bei den übrigen Thierclassen aber, den Amphibien, Fischen u. s. w., ist die Temperatur des Körpers nur wenig von der Temperatur der Umgebung verschieden.

Welches ist nun die Quelle der thierischen Wärme? Die Luft, welche wir einathmen, wird in derselben Weise verändert wie die Luft, welche zur Verbrennung gedient hat; der Sauerstoff der Luft wird in Kohlensäure verwandelt, es findet also im Körper eine förmliche Verbrennung Statt. Seit Lavoisier diese Entdeckung gemacht hatte, war die Quelle der thierischen Wärme kein Geheimniß mehr.

Durch die Speisen wird dem Körper der Kohlenstoff zugeführt, welcher sich im Körper mit dem Sauerstoffe der eingeathmeten Luft verbindet; durch die Oxydation des Kohlenstoffs im Thierkörper muß aber nothwendig dieselbe Wärmemenge erzeugt werden, wie bei der schnellen Verbrennung des Kohlenstoffs.

In einer kalten Umgebung verliert der Mensch und das Thier stets mehr Wärme als in wärmerer; damit nun die Blutwärme bei den Säugethieren und Vögeln von der Temperatur der Luft unabhängig erhalten werde, muß nothwendig im Körper mehr Wärme erzeugt werden, wenn ihm in jedem Augenblicke eine größere Wärmemenge entzogen wird, wenn er also in kalter Luft lebt, als wenn er in wärmerer Umgebung nur wenig Wärme nach außen hin abgiebt. Um aber in gleichen Zeiten mehr Wärme erzeugen zu können, muß dem Körper mehr Kohlenstoff zugeführt werden, durch dessen Oxydation die Wärme erzeugt wird, wie man ja auch bei kaltem Wetter mehr Brennmaterial im Ofen verbrennen muß, um ein Zimmer auf einer bestimmten constanten Temperatur zu erhalten, als bei gelinder Kälte. Dadurch erklärt sich nun, warum der Nordländer mehr Speisen und besonders mehr kohlenstoffhaltige Speisen zu sich nehmen muß, als der Bewohner der heißen Zone.

Die Wärmemenge, welche ein Thier in einer gegebenen Zeit entwickelt, hat Dulong auf folgende Weise zu bestimmen gesucht. Das Thier wurde in einen Kasten von dünnem Kupferblech gebracht, welcher in eine große Masse Wasser eingetaucht war. Die durch das Thier erzeugte Wärme wurde durch die Temperaturerhöhung des Wassers bestimmt; die zum Athmen nöthige Luft wurde durch ein Gasometer zugeführt, und die Producte der Respiration wurden gesammelt und analysirt. Ein solcher Versuch dauerte ungefähr zwei Stunden; es zeigte sich, daß die ausgeathmete Luft feuchter war, daß ein Theil des Sauerstoffs durch Kohlensäure ersetzt und daß außerdem noch ein Theil Sauerstoff verschwunden war. Der Stickstoffgehalt der Luft hatte keine Veränderung erlitten. Nimmt man nun an, daß der Sauerstoff, welcher in Kohlensäure verwandelt worden ist, sich wirklich beim Respirationsprocesse mit Kohlenstoff verbunden hat; nimmt man ferner an, daß der verschwundene Sauerstoff sich mit Wasserstoff zu Wasser verbunden hat, so kann man leicht die Wärmemenge berechnen, welche auf diesem Wege entwickelt wird; dieser Rechnung zufolge werden aber durch die Respiration nur 8 bis 9 Zehntel der Wärme er-

zeugt, welche das Thier an das Wasser abgegeben hat; es scheint demnach die Respiration nicht die einzige Quelle der thierischen Wärme zu sein.

Liebig hat aber gezeigt, daß der angeführte Versuch zu diesem Schlusse nicht berechtigt; bei der großen Differenz zwischen der Temperatur des Wassers und der des Thieres ist der Wärmeverlust freilich größer, als man dem verbrauchten Sauerstoffe nach erwarten sollte; man muß bedenken, daß bei der sehr kalten Umgebung die freie Bewegung des Thieres gehindert war, so daß es durch vermehrte Bewegung das Athmen nicht gehörig beschleunigen konnte, daß es sich also in einem unnatürlichen Zustande befand, in welchem es nothwendig frieren mußte, und den es auf die Dauer unmöglich hätte ertragen können.

239 **Wärmeentwickelung bei Bildung von Chlorverbindungen.** Die bei der Bildung von Chlorverbindungen frei werdende Wärme hat Andrews in ähnlicher Weise bestimmt, wie die Verbrennungswärme. In Betreff der Anordnung des Versuchs auf die Originalabhandlung verweisend (Pogg. Annal. LXXV.), wollen wir hier nur die Resultate derselben anführen.

Namen der Substanz.	Wärmeeinheiten, welche entwickelt werden durch die Verbindung	
	von 1 Gramm Substanz mit Chlor.	der Substanz mit 1 Gramm Chlor.
Kalium	2 655	2 943
Zinn	1 079	897
Antimon	707	860
Zink	1 529	1 427
Kupfer	961	859
Eisen	1 745	921

Mit demselben Calorimeter, welches gedient hatte, um die Verbrennungswärme gasförmiger Körper zu bestimmen, ermittelten Favre und Silbermann auch die bei der Verbindung von Wasserstoff und Chlor frei werdende Wärme. Sie fanden, daß die Wärme, welche bei Verbindung von 1 Gramm Wasserstoffgas mit 35,5 Gr. Chlorgas zu Chlorwasserstoffsäure

23684 Wärmeeinheiten

beträgt. Auf indirectem Wege, nach einer Methode, welche in einem der nächsten Paragraphen besprochen werden soll, fanden Favre und Silbermann, daß die Wärmeentwickelung bei Verbindung von

1 Gramm

Zink	mit Chlor	1 547	(zu wasserfreien Chlorüren)
Kupfer	» »	923	
Eisen	» »	1 775	
Silber	» »	322	
Kalium	» »	2 588	
Natrium	» »	4 126	

Calorien (Wärmeeinheiten) beträgt.

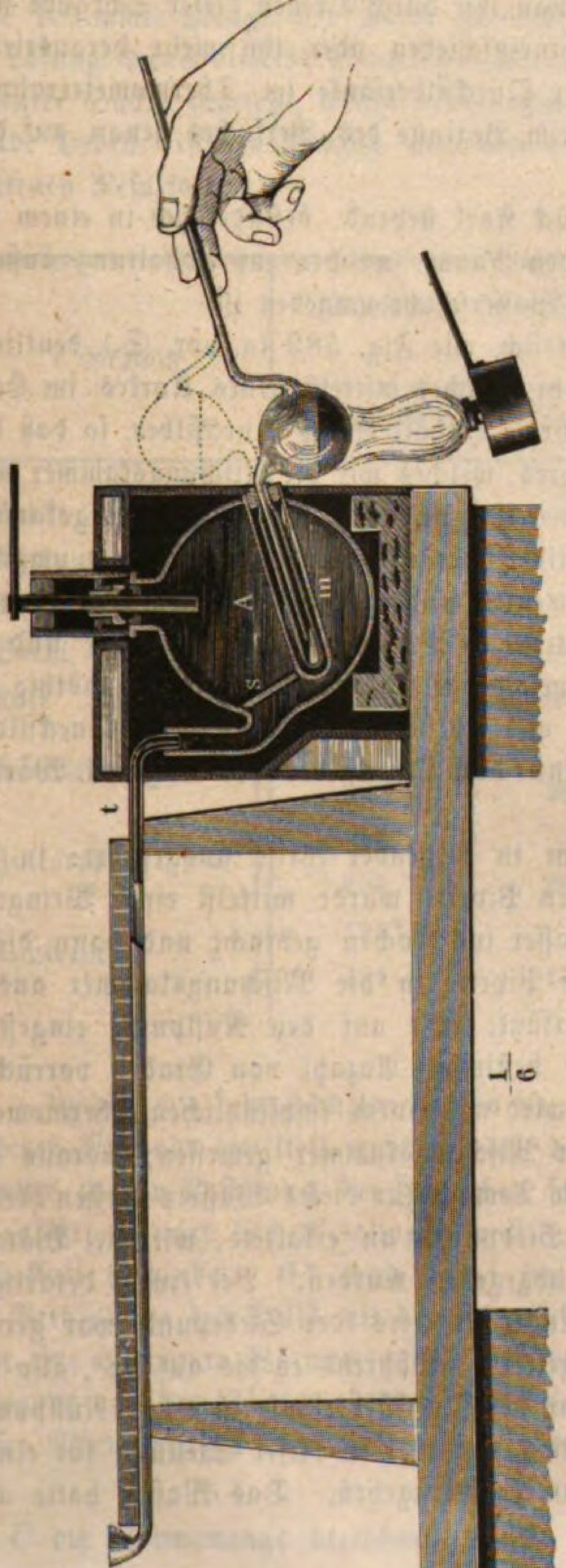
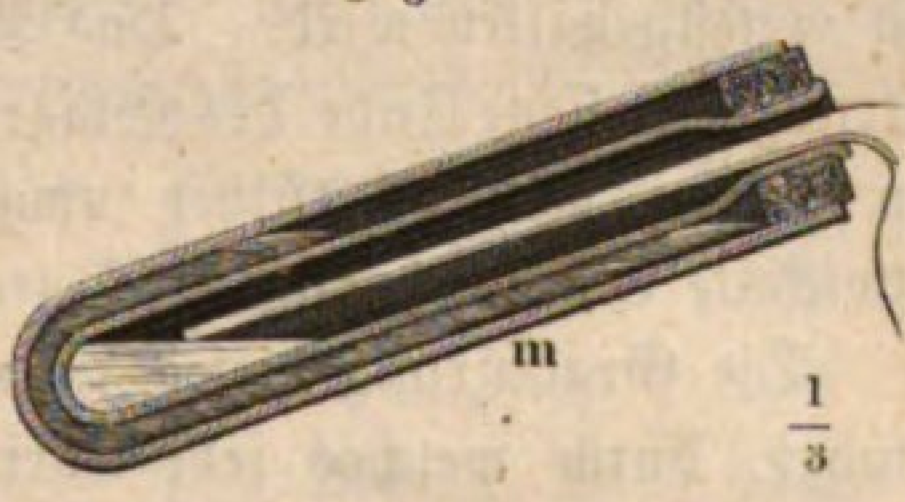


Fig. 588.

Verbindungswärme von Basen mit Säuren. 240 Die Wärme, welche entwickelt wird, wenn Säuren sich mit Basen zu neutralen Salzen verbinden, ha-

Fig. 589.



ben schon Heß und Andrews zum Gegenstande ihrer Untersuchungen gemacht (Pogg. Annal. LII, LIV, LIX, LXVI); die neueste und umfassendste Arbeit über die Verbindungswärme von Basen und Säuren haben jedoch Favre und Silbermann ausgeführt (Annal. de chim. et de phys. Sér. III, T. 36, 37). Sie bedienten sich dabei des Fig. 588 dargestellten Quecksilber-Calorimeters, welches auch noch bei manchen anderen thermischen Untersuchungen gute Dienste leisten kann. Der ungefähr 1 Liter haltende mit Quecksilber gefüllte Glasballon *A* hat drei Oeffnungen; in die eine derselben ist ein

unten geschlossenes Rohr *m* von dünnem Eisen- oder Platinblech eingesetzt. Ein Glasstäbchen *s* hindert, daß die Röhre *m* durch das Quecksilber im Gefäße *A* gehoben wird. In die zweite Oeffnung ist ein dem größten Theile seiner Länge nach horizontal laufendes Thermometerrohr *t* eingesetzt; der Stand der Quecksilbersäule in diesem Rohre wird auf einer in Millimeter getheilten Scala abgelesen. Durch die dritte Oeffnung ragt von oben her ein Stahlstempel in das Quecksilber des Gefäßes *A* herab, welcher an seinem oberen Ende mit Schraubenwindungen versehen ist, so daß man ihn durch Drehen dieser Schraube nach Belieben tiefer in das Gefäß *A* hineinschieben oder ihn mehr herausziehen kann, wodurch man den Stand der Quecksilbersäule im Thermometerrohre *t* so reguliren kann, daß dieselbe beim Beginne des Versuches genau auf dem Nullpunkte der Scala steht.

Der Ballon *A*, auf einem Stück Kork stehend, befindet sich in einem mit schlechten Wärmeleitern auszufüllenden Raum, welcher zur Abhaltung äußerer Wärmeeinflüsse theilweise mit einer Wasserschicht umgeben ist.

In dem Metallrohre *m* befindet sich, wie Fig. 589 (a. vor. S.) deutlicher zeigt, ein ganz dünnglasiges Glasrohr, welches mittelst eines Korkes im Halse von *m* festgehalten wird. Das Rohr *m* enthält etwas Quecksilber, so daß das unten geschlossene Ende des Glasrohres, welches wir die Mischungskammer nennen wollen, mit Quecksilber umgeben ist, und die in der Mischungskammer entwickelte Wärme leicht zum Quecksilber übergeht, welches das Rohr *m* umgiebt.

Die Graduirung dieses Instrumentes wurde nun nach einem Princip ausgeführt, durch welches jede Correction in Beziehung auf die Masse und die specifische Wärme der Substanzen, welche das Calorimeter bilden, unnöthig ist; es wurde nämlich ermittelt, um wie viel Theilstriche der Scala die Quecksilbersäule im Rohre *t* voranschreitet, wenn dem Quecksilber der Kugel 1 Wärmeeinheit zugeführt wird.

Diese Bestimmung wurde nun in folgender Weise ausgeführt: in der Kugel einer eigenthümlich geformten Pipette wurde mittelst einer Weingeistlampe eine bestimmte Quantität Wasser ins Kochen gebracht und dann dieses kochende Wasser durch Umkehren der Pipette in die Mischungskammer ausgeleert. War vorher die Quecksilbersäule in *t* auf den Nullpunkt eingestellt worden, so wird sie nun um eine bestimmte Anzahl von Graden vorrücken. Sobald sie stationär geworden ist, wird mit einem empfindlichen Thermometer die Temperatur des Wassers in der Mischungskammer gemessen, woraus sich dann ergiebt, um wie viel Grade die Temperatur dieses Wassers (dessen Menge genau ermittelt werden muß) vom Siedpunkte an erkaltete, wie viel Wärmeeinheiten also an das Quecksilber abgegeben wurden. Bei einem derartigen Versuche wurden 6,23 Gramm kochenden Wassers (der Siedepunkt war gerade 99,8°) in das Mischungsgefäß ausgeleert. Während es bis auf 28°, also um $99,8 - 28 = 71,8^0$ erkaltete, war die Quecksilbersäule in *t* vom Nullpunkte der Theilung um 137^{mm} vorgeschritten und war in dieser Stellung für einige Zeit stationär geworden, um alsdann zurückzugehen. Das Wasser hatte also abgegeben

$$71{,}8 \,.\, 6{,}23 = 447 \text{ Wärmeeinheiten,}$$

und diese 447 Wärmeeinheiten machen die Quecksilbersäule in t um 137^{mm} vorangehen. Eine Wärmeeinheit, welche dem Quecksilber in A zugeführt wird, entspricht also $\frac{137}{447} = 0{,}306$ Millimeter der am Rohre t angebrachten Scala.

Um die bei Verbindung von Säuren und Basen zu neutralen Salzen frei werdende Wärme zu ermitteln, wurde zuerst in die Mischungskammer eine bestimmte Menge der Basis gebracht und zwar im Zustande verdünnter Lösung, wenn dieselbe überhaupt löslich war, und dann eine Quantität verdünnter Säure zugesetzt, welche gerade hinreichte, die Basis zu sättigen. Folgende Tabelle ist ein Auszug aus den von Favre und Silbermann erhaltenen Resultaten:

1 Gramm	Anzahl der Wärmeeinheiten, welche frei werden durch die Verbindung von			
	Schwefelsäure	Salpetersäure	Salzsäure	Essigsäure
Kali . . . . mit	342	330	333	297
Natron . . . »	520	493	493	439
Ammoniak . . »	565	527	521	486
Baryt . . . . »	270	202	201	174
Kalk . . . . »	670	605	606	524
Eisenoxydul . »	303*			
	308	268	273	239
Zinkoxyd . . »	255*			
	253	203	203	188
Kupferoxyd . »	194*			
	194	159	160	132

Zu den mit * bezeichneten Zahlen ist noch zu bemerken, daß sie nach einer anderen Methode ermittelt wurden, als der eben angegebenen. Wenn man nämlich zu der Auflösung der fraglichen schwefelsauren Metallsalze Kalilösung hinzusetzt, so wird das Metalloxyd gefällt, indem sich die Schwefelsäure mit dem Kali verbindet. Es wird dabei frei eine Wärmemenge A, welche durch die Verbindung des Kalis mit der Schwefelsäure entwickelt wird; dagegen wird aber eine bestimmte Wärmemenge B gebunden durch die Abscheidung des Metalloxyds von der Säure, es kann also bei diesem Vorgange nur die Differenz dieser Wärmemengen beobachtet werden, nämlich

$$A - B = C,$$

wo C die Wärmemenge bezeichnet, welche bei Fällung des Metalloxyds durch

Kali frei wird. Da aber die Zahlenwerthe von A und C durch den Versuch gegeben sind, so kann man leicht B berechnen, denn es ist

$$B = A - C.$$

Die in obiger Tabelle mit * bezeichneten Zahlen sind nun in der That nichts anderes als die auf diesem Wege gefundenen Wärmemengen, welche absorbirt werden, wenn ein Gramm des entsprechenden Metalloxyds aus seiner Verbindung mit Schwefelsäure ausgeschieden wird.

Da nun diese Zahlen fast ganz genau mit den darunter stehenden übereinstimmen, so ist durch diese Versuche in der That der Beweis geführt, daß bei Trennung einer Verbindung gerade so viel Wärme absorbirt, wie bei Bildung derselben entwickelt wird, ein Satz, den schon früher Joule zur Bestimmung der Verbrennungswärme der Metalle auf elektrolytischem Wege in Anwendung gebracht hatte.

Da bei dem eben beschriebenen Verfahren das neutrale Salz in verdünnter Lösung erhalten wird, so geben eigentlich die Zahlen der Tabelle nicht den wahren Werth der Verbindungswärme der Basis mit der Säure, sondern es erscheint derselbe noch um die bei der Auflösung des Salzes in Wasser absorbirte Wärme vermindert.

241 **Wärmeabsorption durch Auflösung von Salzen.** Favre und Silbermann haben das im vorigen Paragraphen beschriebene Quecksilbercalorimeter auch benutzt, um die Quantität von Wärme zu ermitteln, welche beim Auflösen von Salzen gebunden wird. Folgendes sind einige der von ihnen erhaltenen Resultate:

Bei der Auflösung von 1 Gramm	werden gebunden
schwefelsaurem Kali	35 W.-E.
» Natron	49 »
» Ammoniak	11 »
» Zink	15 »
salpetersaurem Kali	70 »
» Natron	45 »
» Ammoniak	66 »
Chlorkalium	52 »
Chlornatrium	9 »
Salmiak	65 »
salzsaurem Kalk	15 »

Wenn ein wasserfreies Salz, welches fähig ist, Hydrate zu bilden, in einem Ueberschuß von Wasser gelöst wird, so wird nicht allein keine Wärme absorbirt, sondern es wird noch Wärme frei. Während z. B. bei Auflösung von salzsaurem Kalk Wärme gebunden wird, so findet eine Erwärmung statt, sobald man das wasserfreie Chlorcalcium in Wasser auflöst.

Bei Auflösung von 1 Gramm wasserfreiem Chlorzink in Wasser werden 92 Wärmeeinheiten entwickelt, indem also Chlorzink mit Wasser sich zu Hydrat verbindet, muß viel mehr Wärme frei werden, als bei der Auflösung

des Chlorzinkhydrats in Wasser wieder gebunden werden kann, ein Beweis, daß die bei der Hydratbildung frei werdende Wärme keineswegs allein daraus abgeleitet werden kann, daß das Wasser in eine feste Verbindung eingeht.

Hydradation der Schwefelsäure. Es ist eine bekannte Thatsache, 242 daß eine bedeutende Wärmeentwickelung eintritt, wenn englische Schwefelsäure (SO_3,HO) mit Wasser gemischt wird. Schon Heß hat unter anderen auch diese Wärmeentwickelung zum Gegenstande seiner thermochemischen Untersuchungen gemacht. Später haben Andrews, Favre und Silbermann u. A. über denselben Gegenstand experimentirt und sehr nahe übereinstimmende Resultate gefunden. Nach Favre und Silbermann entwickelt die Mischung von

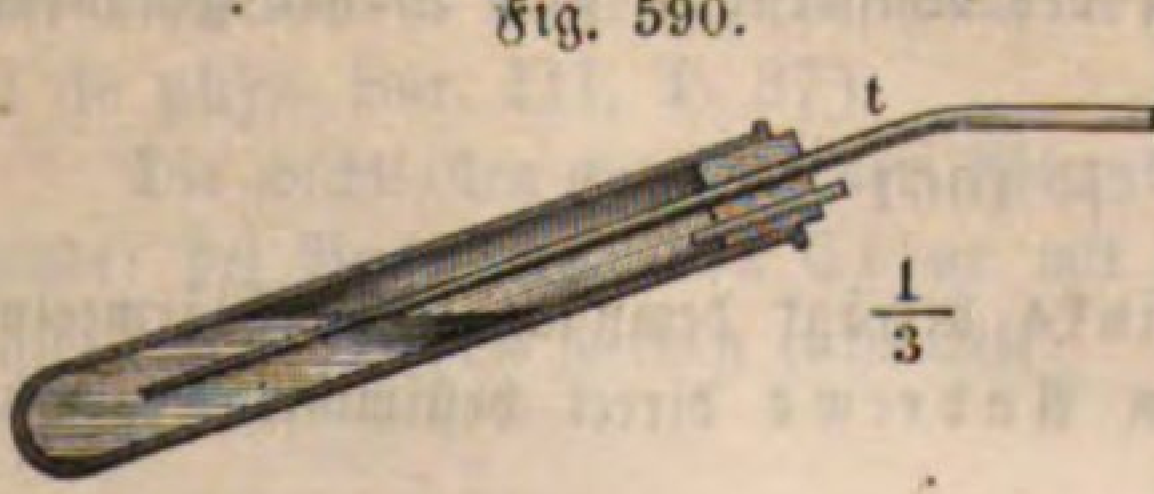
1 Gramm SO_3,HO

mit dem ersten halben Aeq. Wasser	36,7 W.-E.
» » zweiten » » »	28,3 »
mit 1 Aeq. Wasser	64,7 W.-E.
» 2 » »	94,6 »
» 3 » »	111,9 »
» 4 » »	122,2 »
» 5 » »	130,7 »
» 6 » »	136,2 »
» 7 » »	141,8 »
» 8 » »	145,1 »
» 9 » »	148,5 »
» 10 » »	148,4 »
» 20 » »	148,6 »

Demnach wird gleich viel Wärme entwickelt, mag man nun erst $1/2$ und dann noch $1/2$ Aeq. Wasser zu SO_3,HO hinzusetzen, oder gleich 1 Aeq. auf einmal, und somit bestätigen auch diese Versuche den schon von Heß aufgestellten Satz: »daß, wenn eine Verbindung stattfindet, die entwickelte Wärmemenge gleich sei, mag nun die Verbindung direct oder indirect und zu wiederholten Malen geschehen.«

Wärmeentwickelung bei der Absorption von Gasen in 243 Wasser. Um die Wärmeentwickelung bei Absorption von salzsaurem Gas durch Wasser zu bestimmen, wandten Favre und Silbermann gleichfalls ihr Quecksilbercalorimeter an. Die Mischungskammer wurde zum Theil mit Wasser gefüllt und in dieses dann durch die Röhre *t*, Fig. 590, das aus einem Quecksilbergasometer kommende Gas eingeleitet. Das Gas, welches nicht von dem Wasser absorbirt wurde, konnte durch ein Seitenröhrchen entweichen.

Fig. 590.



Die genannten Physiker haben nun gefunden, daß bei Absorption von 1 Gramm salzsaurem Gas in Wasser 450 Wärmeeinheiten entwickelt werden.

In gleicher Weise wurde mit schwefliger Säure und Ammoniakgas operirt; es ergab sich dabei, daß die Absorption von

1 Gramm

schwefliger Säure 120

Ammoniakgas 514

Wärmeeinheiten entwickelt.

244 **Indirecte Bestimmung der Verbrennungswärme der Metalle.** Von dem Satze ausgehend, daß bei Zersetzung einer Verbindung ebenso viel Wärme absorbirt, wie bei der Bildung derselben entwickelt wird, kann man die Verbrennungswärme von Metallen auch aus zusammengesetzten chemischen Vorgängen ableiten. Wird z. B. Zink in verdünnter Schwefelsäure aufgelöst, so gehen folgende Processe vor sich: 1) das Zink verbindet sich mit Sauerstoff zu Zinkoxyd, und dabei wird eine Wärmemenge x entwickelt.

Das gebildete Zinkoxyd verbindet sich mit der Schwefelsäure und dabei wird eine Wärmemenge A frei, welche man nach der entsprechenden Angabe auf Seite 681 berechnen kann; dagegen wird aber 2) das Wasser zerlegt und dabei eine Wärmemenge B gebunden, welche sich aus der Verbrennungswärme des Wasserstoffgases ergiebt. Die Gesammtwärme R, welche bei Auflösung von Zink in verdünnter Schwefelsäure frei wird, ist also

$$R = x + A - B,$$

wonach man x berechnen kann, da die Werthe von R, A und B bekannt sind.

Als bei einem derartigen Versuche in der Mischungskammer 1 Gramm Zink in verdünnter Schwefelsäure aufgelöst wurde, betrug die dadurch dem Calorimeter zugeführte Wärmemenge 568 Wärmeeinheiten, oder es war $R = 568$.

1 Gramm Zink bildet 1,24 Gramm Zinkoxyd und bei Verbindung von 1,24 Gramm Zinkoxyd mit Schwefelsäure zu gelöstem Zinkvitriol werden $1,24 \times 255 = 316$ Wärmeeinheiten entwickelt, also ist $A = 316$.

1 Gramm Zink scheidet bei dem vorliegenden Proceß $\frac{1}{32,5} = 0,0308$ Gramm Wasserstoff aus. Bei Verbrennung von 0,0308 Gramm Wasserstoffgas werden $0,0308 \times 34462 = 1061$ Wärmeeinheiten entwickelt, und da eben so viel Wärme bei Ausscheidung des Wasserstoffs aus Wasser gebunden wird, so ist $B = 1061$ mithin

$$x = 568 - 316 + 1061 = 1313.$$

Die Verbrennungswärme des Zinks beträgt demnach 1313 Wärmeeinheiten, ein Werth, welcher dem von Andrews direct bestimmten Werthe (1301; Seite 671) sehr nahe kommt.

Die Oxydationswärme des **Kupfers** wurde dadurch bestimmt, daß 1 Grm. Zink einer verdünnten Auflösung von Kupfervitriol zugesetzt wurde; die dabei entwickelte, durch das Calorimeter gemessene Wärmemenge R betrug 714 Wärmeeinheiten. Es ist aber hier

$$R = A + B - C - x,$$

wenn für:

A die Oxydationswärme des Zinks gesetzt wird, welche 1313 ist,

für B die Verbindungswärme des gebildeten wasserfreien Zinkoxyds mit verdünnter Schwefelsäure, also 316,

für C die Zersetzungswärme des aufgelösten Kupfervitriols = 254.

Nach Einführung dieser Zahlenwerthe ergiebt sich

$$x = 661,$$

während Andrews die Verbrennungswärme des Kupfers zu 600 bestimmt hatte.

Die Verbrennungswärme des **Eisens** ermittelten Favre und Silbermann durch die Fällung von Kupfer aus einer Lösung von Kupfervitriol durch Eisen und fanden die Wärmemenge, welche bei Verbrennung von 1 Grm. Eisen zu FeO entwickelt wird gleich 1351 Wärmeeinheiten.

Durch Einwirkung von 1 Grm. Zink auf eine wässerige Lösung von essigsaurem Bleioxyd ergab sich die Verbrennungswärme des **Bleis** gleich 266 W.-E., und durch Einwirkung von 1 Grm. Kupfer auf eine Lösung von salpetersaurem Silberoxyd die Verbrennungswärme des **Silbers** gleich 57 Wärmeeinheiten.

Durch die Einwirkung von 1 Grm. **Kalium** auf Wasser wurden 1071 Wärmeeinheiten frei; addirt man dazu 884 W.-E., welche durch die Wasserzersetzung absorbirt wurden, so ergiebt sich die

Oxydationswärme des Kaliums . . . . . 1955 W.-E.

durch das gleiche Verfahren ergiebt sich die

Oxydationswärme des Natriums . . . . . 3196 W.-E.

Die beiden letzten Zahlen sind mit den übrigen nicht direct vergleichbar, denn sie geben die Wärme, welche durch die Verbindung des Kaliums und des Natriums zu **gelöstem** Kali und Natron entwickelt wird, während die vorhergehenden Zahlen sich auf die Bildung des wasserfreien Oxyds beziehen.

Wärmeentwickelung von Chlor-, Brom-, Jod- und Schwefelverbindungen. 245 Auf ähnliche Weise haben nun Favre und Silbermann auf indirectem Wege auch die Wärmemengen bestimmt, welche bei Verbindung von Metallen mit Chlor, Brom, Jod und Schwefel entwickelt werden. Wir können auf die Details der Versuche hier nicht näher eingehen und verweisen in dieser Beziehung auf die Originalabhandlung (Annal. de chim. et de phys. Sér. III, T. 37).

Die wichtigsten der in jener Abhandlung aufgeführten Resultate sind folgende: bei Verbindung von Chlor mit 1 Grm. der folgenden Metalle zu **gelösten Chlorüren** werden entwickelt:

Kalium	2489 W.-E.
Natrium	4101 »
Zink	1740 »
Kupfer	1078 »
Eisen	1905 »

Die oben Seite 679 angeführten Zahlen beziehen sich auf die Bildung wasserfreier Verbindungen.

Bei der Verbindung von 1 Grm. der folgenden Metalle mit Brom werden entwickelt:

Bromverbindungen in Wasser gelöst.	Wasserstoff	28404 W.-E.
	Kalium	2192 »
	Natrium	3592 »
Wasserfrei	Blei	315 »
	Silber	237 »

Bei Verbindung von 1 Grm. der folgenden Metalle mit Jod werden entwickelt:

Gelöste Jodverbindungen.	Wasserstoff	15004 W.-E.
	Kalium	1854 »
	Natrium	3006 »
Wasserfrei. . . .	Blei.	223 »
	Silber	173 »

Bei der Verbindung von 1 Grm. der folgenden Metalle mit Schwefel werden entwickelt:

In Lösung . . .	Kalium	1307 W.-E.
	Natrium	2103 »
Wasserfrei	Wasserstoff	2741 »
	Zink	644 »
	Eisen	634 »
	Kupfer	285 »
	Blei	92 »
	Silber	51 »

246 **Bestimmung der Verbrennungswärme durch Elektrolyse.** Durch eine sinnreiche Combination der Elektrolyse und der Wärmeentwickelung durch den galvanischen Strom hat Joule auf indirectem Wege die Verbrennungswärme einiger Körper zu ermitteln gesucht (Phil. Mag. Sér. IV, Vol. III). Er geht bei dieser Bestimmung von folgenden Voraussetzungen aus:

1) Bei Zersetzung einer chemischen Verbindung wird eben so viel Wärme absorbirt, wie bei Bildung derselben entwickelt wird.

2) In einem Elektrolyten wird bei gleicher Stromstärke eben so viel Wärme entwickelt, wie in einem metallischen Leiter von gleichem Leitungswiderstande, ein Theil dieser Wärme wird aber durch die chemische Zersetzung, welche die Stromleitung begleitet, wieder absorbirt.

Zur Bestimmung der Verbrennungswärme des Kupfers wurden die Versuche in folgender Weise angestellt:

In den Schließungsbogen einer aus vier Daniell'schen Bechern bestehenden Säule wurde eine Tangentenbussole und eine Zersetzungszelle eingeschaltet, welche mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt war. Die Ablenkung v der Tangentenbussole war unter diesen Umständen 37° 8′ also $tang\,v = 0{,}7607$.

Statt der Zersetzungszelle wurde nun ein 8 Meter langer, 0,6ᵐᵐ dicker Silberdraht in den Schließungsbogen eingeschaltet, und nun war die Ablenkung s der Tangentenbussole 54° 31′, also $tang\,s = 1{,}4099$.

Als endlich auch dieser Silberdraht aus dem Schließungsbogen der Säule entfernt wurde, so daß derselbe nur noch durch die Tangentenbussole und die dicken Leitungsdrähte gebildet war, stieg die Ablenkung u auf 74° 46′, es war also $tang\,u = 3{,}7036$.

Wenn man den Leitungswiderstand des Silberdrahtes = 1 setzt, so ergibt sich aus diesen Angaben nach der in §. 82 erläuterten Methode für den Leitungswiderstand der Zerlegungszelle der Werth 2,376.

Als der Silberdraht auf eine Glasröhre so aufgewunden, daß keine Berührung zwischen den einzelnen Windungen stattfand, und in ein Gefäß getaucht wurde, welches 1284 Grm. destillirtes Wasser enthielt, wurde die Temperatur dieses Wassers um 1,444° C. erhöht, während ein Strom von der Stärke 1,3223 (Tangente des Ablenkungswinkels) 10 Minuten lang durch den Draht hindurchging; es wurden also durch den Strom 1,3223 in 10′ im Silberdraht $1284 \times 1{,}444 = 1854$ Wärmeeinheiten entwickelt.

Nach dem in §. 89 besprochenen Gesetze ist aber die in einem Leiter durch den elektrischen Strom entwickelte Wärme dem Quadrat der Stromstärke und seinem Leitungswiderstande proportional; da nun der Leitungswiderstand der oben besprochenen Zerlegungszelle 2,376 ist, so muß die in dieser Zerlegungszelle während 10′ durch den Strom 0,7607 entwickelte Wärme sein

$$1854 \times \left(\frac{0{,}7607}{1{,}3223}\right)^2 \times 2{,}376 = 1455 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Der Versuch ergab nun in der Flüssigkeit der Zerlegungszelle in 10′ eine Temperaturerhöhung von 0,817° C., während 0,5874 Grm. Kupfer an der negativen Elektrode abgesetzt wurden.

Die Zerlegungszelle enthielt 3 Pfd. Kupfervitriollösung, welche in Betreff der specifischen Wärme einer Wassermenge von 1179 Grm. gleich zu setzen sind; die in 10′ in der Zerlegungszelle durch den Strom 0,7607 wirklich frei gewordene Wärmemenge beträgt also nur

$$1179 \times 0{,}817 = 963 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Es sind demnach

$$1455 - 963 = 492 \text{ Wärmeeinheiten}$$

durch die Elektrolyse einer Quantität Kupfervitriol absorbirt worden, welche 0,5874 Grm. Kupfer enthielt, was auf die elektrolytische Ausscheidung von 1 Grm. Kupfer eine Wärmeabsorption von 836 Einheiten giebt.

Diese Wärmemenge besteht aber aus zwei Theilen, nämlich aus derjenigen Wärme, welche bei der Trennung des Kupferoxyds von der Schwefelsäure, und

derjenigen, welche bei der Zerlegung des Kupferoxyds gebunden wird. Aus einem besonders deshalb angestellten Versuche hatte sich ergeben, daß um diejenige Quantität Kupferoxyd, welche 1 Grm. Kupfer enthält, von der Schwefelsäure abzuscheiden, 236 Wärmeeinheiten absorbirt werden; für die Ausscheidung von 1 Grm. Kupfer aus seiner Verbindung mit Sauerstoff bleibt also noch die Absorption von

$$836 - 236 = 600 \text{ Wärmeeinheiten},$$

was vollkommen mit dem von Andrews für die Verbrennungswärme des Kupfers gefundenen Werthe übereinstimmt, während Favre und Silbermann diese Zahl zu 660 bestimmt haben.

Für die Verbrennungswärme des Zinks fand Joule nach derselben Methode den Werth 1185, während ihn Andrews zu 1301 angiebt.

Die Verbrennungswärme des Wasserstoffs bestimmte Joule durch die Elektrolyse der stark verdünnten Schwefelsäure und fand sie gleich 33553, während sie Andrews zu 33808, Favre und Silbermann aber zu 34462 bestimmten.

247 **Calorische Aequivalente.** Wir haben bisher die bei chemischen Verbindungen freiwerdende Wärme immer auf 1 Grm. des einen in die Verbindung eingehenden Bestandtheils bezogen. Da nun aber die Beziehung auf chemische Aequivalente über die Discussion mehrerer physikalischen Phänomene viel Licht verbreitet hat, so haben Favre und Silbermann die bei chemischen Verbindungen freiwerdende Wärme auf chemische Aequivalente bezogen; sie bezeichnen mit dem Namen des calorischen Aequivalents einer Verbindung die Zahl der Wärmeeinheiten, welche frei wird, wenn sich 1 Aeq. des einen Stoffes mit 1 Aeq. des anderen verbindet, wobei dann 1 Grm. als Aequivalent des Wasserstoffs betrachtet wird. So ist z. B. auf Wasserstoff als Einheit bezogen das chemische Aequivalent des Zinks = 32,5, also das calorische Aequivalent des Zinkoxyds $32{,}5 \times 1294 = 42055$.

In diesem Sinne enthält die folgende Tabelle das calorische Aequivalent mehrerer binären Verbindungen:

Metalle.	Oxyde.	Chlorüre.	Bromüre.	Jodüre	Sulfüre.
Wasserstoff	34462	23783	9322	3606	2741
Kalium	—	100960	90188	77268	45638
Natrium	—	94847	—	—	—
Zink	41955	50296	—	—	20940
Eisen	37828	49651	—	—	17753
Kupfer	21885	29524	—	—	9133
Blei	27675	44730	32802	23208	9556
Silber	6113	34800	25618	18651	5524

Im Allgemeinen ist also das calorische Aequivalent einer binären Verbindung um so größer, je constanter sie ist.

Die Zahlen der obigen Tabelle beziehen sich nur auf wasserfreie Verbindungen; die folgende Tabelle enthält die calorischen Aequivalente binärer Verbindungen im Zustande der Lösung (in Wasser):

Metalle.	Oxyde.	Chlorüre.	Bromüre.	Jodüre.	Sulfüre.
Wasserstoff	—	40191	38404	15004	—
Kalium	76238	97091	85678	72479	50969
Natrium	73510	94326	82616	69143	48340
Zink	—	56567	—	—	—
Eisen	—	53350	—	—	—
Kupfer	—	34500	—	—	—

Hier, wo es sich um gelöste Verbindungen handelt, wo also keine Verschiedenheiten der Molekular-Anordnung störend einwirken, zeigen sich wichtige Beziehungen zwischen den calorischen Aequivalenten verschiedener Verbindungen. — Zieht man das calorische Aequivalent des Kaliumoxyds ab von dem calorischen Aequivalent des Chlorkaliums, so bleibt der Rest 20853; fast genau ebenso groß ist die Differenz der calorischen Aequivalente für Natriumoxyd und Chlornatrium, nämlich 20816. Das Mittel dieser beiden Differenzen ist 20834. Ebenso findet man die Differenz zwischen einer Chlorverbindung und der gleichnamigen Bromverbindung sehr nahe gleich und zwar im Mittel gleich 11637. Wenn man also von dem calorischen Aequivalent eines Chlormetalls die Zahl 11637 abzieht, so muß man das calorische Aequivalent der Bromverbindung desselben Metalls erhalten.

Favre und Silbermann bezeichnen diese Differenzen als Modulus der Metalloide. So ist

+ 9273	der Modulus der Brommetalle	verglichen
— 4063	» » » Jodmetalle	mit den
— 25219	» » » Schwefelmetalle	Oxyden.

Man kann den entsprechenden Modulus benutzen, um das calorische Aequivalent noch nicht untersuchter Verbindungen zu berechnen; ebenso kann man mit Hülfe dieser Zahlen berechnen, welches das calorische Aequivalent einer unlöslichen Verbindung sein müßte, wenn man sie in Lösung bringen könnte; so erhält man z. B. für die fictive Lösung des Zinkoxyds den Werth 56567 — 20834 = 35733.

Ebenso ist die Differenz der calorischen Aequivalente einer Kaliumverbindung und der gleichnamigen Natriumverbindung stets sehr nahe gleich und im Mittel 2724.

Diese Differenzen werden als Modulus der Metalle bezeichnet. Aus den Reihen der Chlorverbindungen ergiebt sich der Modulus

des Zinks bezogen auf Kalium — 40524
» Eisens » » » — 43741
» Kupfers » » » — 62591.

Die folgende Tabelle enthält die calorischen Aequivalente verschiedener löslicher Salze:

Namen der Basis.	Schwefelsäure.	Salpetersäure.	Salzsäure.	Essigsäure.
Kali	16083	15510	15656	13973
Natron	15810	15283	15128	13600
Ammoniak	14960	13676	13536	12649
Magnesia	14440	12840	13220	12270
Eisenoxydul	10872	9648	9928	8590
Zinkoxyd	10455	8323	8307	7720
Kupferoxyd	7720	6400	6416	5264

Fig. 591.



248 **Wärmeentwickelung durch Compression der Gase.** Es ist schon oben bei Gelegenheit der specifischen Wärme davon die Rede gewesen, daß durch Compression der Luft Wärme frei wird (Seite 633 pneumatisches Feuerzeug). Favre und Silbermann haben nun auch über diesen Gegenstand einige Versuche angestellt. Der Apparat, dessen sie sich zu diesem Zwecke bedienten, ist in Fig. 591 dargestellt. In einem metallenen Stiefel läßt sich ein luftdicht schließender Kolben auf- und abschieben. Im unteren Theile des Stiefels sind Oeffnungen angebracht, die mit Glas luftdicht verschlossen sind, so daß man durch diese Oeffnungen hindurch ein auf dem Boden des Apparates stehendes Breguet'sches Thermometer beobachten kann.

Die Gase werden in den Stiefel mittelst zweier Röhren eingeführt; die eine ist an dem Boden des Apparates

angebracht und mit einem Hahn verschließbar, die Oeffnung der anderen liegt gerade unter dem Kolben, wenn dieser seinen höchsten Stand hat.

Die Bewegung des Kolbens wird mittelst eines mit der Kolbenstange durch ein Watt'sches Parallelogramm verbundenen Hebels bewerkstelligt. Die Arretirung des Kolbens an bestimmten Stellen des Cylinders wird dadurch bewirkt, daß der Hebel durch Bolzen an den entsprechenden Stellen seiner Bahn angehalten wird.

Als der Stiefel ganz mit Luft unter dem Druck der Atmosphäre und von der Temperatur der Atmosphäre gefüllt war, wurde die eingeschlossene Luft rasch auf die Hälfte ihres ursprünglichen Volumens zusammengepreßt, und dabei stieg das Thermometer um 13,2°.

Nachdem die eingeschlossene comprimirte Luft sich wieder bis zur Temperatur der Umgebung abgekühlt hatte, wurde der Kolben rasch in seine erste Stellung zurückgezogen und dabei sank das Thermometer um 12,8°.

In ähnlicher Weise wurde auch mit anderen Gasen experimentirt, und so wurden die Resultate der dritten Verticalreihe der folgenden Tabelle erhalten, in welcher C Compression und E Expansion bezeichnet.

Um den Cylinder mit Luft von $\frac{1}{2}$ Atmosphäre Druck zu füllen, wurde der Hahn am unteren Rohre geöffnet, der Kolben bis in die halbe Höhe des Cylinders heruntergedrückt und, nachdem der Hahn geschlossen war, wieder in seine ursprüngliche Stellung zurückgezogen. Dabei sank das Thermometer um 7,6°. Nach Ausgleichung der Temperatur wurde der Kolben wieder bis zur Mitte des Cylinders niedergestoßen, und nun zeigte das Thermometer eine Temperaturerhöhung von 8,8° an. Bei Wiederholung des gleichen Versuchs mit anderen Gasen wurden die Resultate der zweiten Verticalreihe erhalten.

Nach diesen Bemerkungen ist nun wohl die ganze Tabelle verständlich.

Namen der Gase.		Zwischen $\frac{1}{2}$ und 1 Atmosphäre.	Zwischen 1 und 2 Atmosphären.	Zwischen $\frac{1}{2}$ und 2 Atmosphären.
Luft	C	+ 8,8°	+ 13,2°	+ 22,0°
	E	— 7,6	— 12,8	— 20,4
Sauerstoff	C	+ 9,3	+ 13,2	+ 22,5
	E	— 7,6	— 13,2	— 20,8
Wasserstoff	C	+ 13,8	+ 18,5	+ 32,3
	E	— 8,5	— 13,7	— 22,2
Kohlensäure	C	+ 7,3	+ 11,3	+ 18,6
	E	— 7,3	— 11,3	— 18,6

Nach dem Seite 634 angegebenen Verhältniß zwischen der specifischen Wärme der Luft bei constantem Druck und bei constantem Volumen muß bei der Compression der Luft von atmosphärischem Druck auf die Hälfte ihres Volumens so viel Wärme frei werden, daß, wenn diese Wärme der comprimirten Luft verbliebe, dieselbe eine Temperaturerhöhung von 113° erfahren müßte. Die obigen Versuche wiesen aber nur eine Temperaturerhöhung von 13,2° nach. Diese große Differenz zwischen der berechneten und der beobachteten Temperaturdifferenz erklärt sich dadurch, daß die bei der Compression der Gase frei werdende Wärme schnell durch die Metallmassen aufgenommen wird, mit welchen das comprimirte Gas in Berührung steht.

Daß bei der Expansion die Temperaturerniedrigung fast durchgängig geringer gefunden wurde, als die Temperaturerhöhung bei der entsprechenden Compression, hängt ohne Zweifel damit zusammen, daß bei comprimirtem Gase die Spirale des Metallthermometers mit mehr Gaspartikelchen in Berührung steht, als bei verdünntem Gase.

Da die specifische Wärme gleicher Volume der verschiedenen einfachen Gase sehr nahe dieselbe ist, so muß durch gleiche Compression gleicher Volume der verschiedenen einfachen Gase auch stets dieselbe Wärmemenge frei werden. Daß aber für die dabei stattfindende Temperaturerhöhung so ungleich ausfällt, liegt an der ungleichen Leitungsfähigkeit der Gase für die Wärme. Wasserstoffgas leitet die Wärme ungleich besser als alle übrigen Gase, weshalb auch, wenn man mit Wasserstoff operirte, das Breguete'sche Thermometer sehr rasch auf die höchste Temperatur stieg oder auf die niedrigste fiel, während es bei anderen Gasen einige Zeit dauerte, bis die Nadel des Thermometers ihre Gränzlage erreicht hatte.

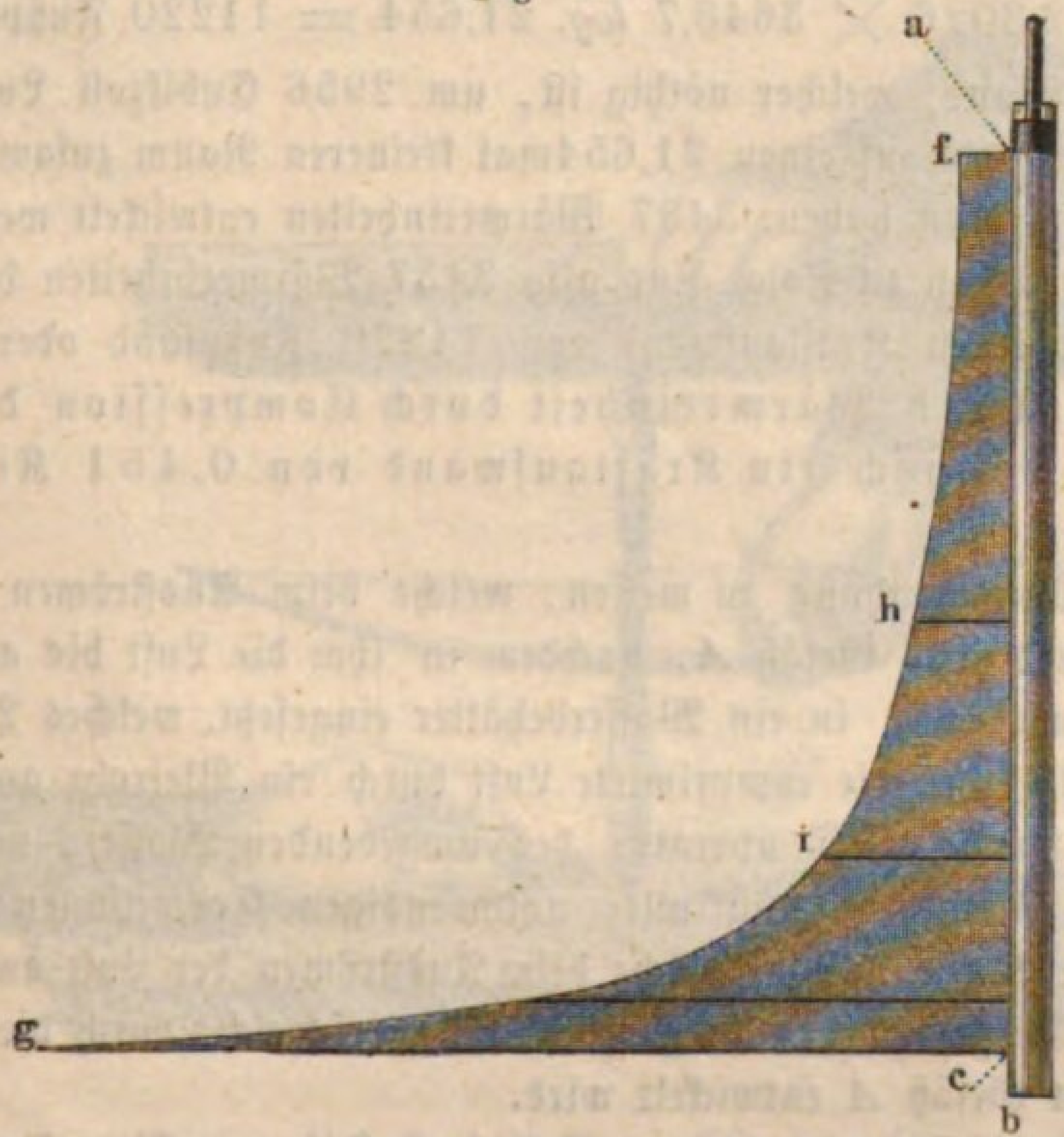
Eine sehr wichtige Untersuchung über die Temperaturveränderungen bei Verdünnung und Verdichtung der Luft hat Joule angestellt (Krönig's Journal, III). In ein kupfernes Behälter *A* von 12 Zoll Länge, 136½ Cubikzoll Inhalt und ¼ Zoll Wanddicke wurde in ähnlicher Weise wie in den Kolben einer Windbüchse durch eine aufgeschraubte Druckpumpe Luft eingepreßt und zwar bis dieselbe nahezu eine Spannkraft von 22 Atmosphären erreicht hatte. Während dieser Operation war nun das kupferne Behälter *A* sammt der Druckpumpe in ein Gefäß eingetaucht, welches 45 Pfd. 3 Unzen Wasser enthielt. Durch 300 Kolbenstöße wurde die Luft im Gefäß von 1 bis 21,654 Atmosphären verdichtet und dabei so viel Wärme entwickelt, daß die Temperatur des Kühlwassers um 0,643° F. stieg. Diese Temperaturerhöhung rührt aber nicht allein von der Compression der Luft, sondern auch von der Kolbenreibung her. Um letztere zu eliminiren wurde das Rohr, durch welches die Luft eingetreten war, verschlossen, und nun fand sich, daß durch 300 Kolbenstöße, welche jetzt nicht von einer Compression der Luft im Behälter begleitet waren, die Temperatur des Kühlwassers um 0,297° F. erhöht wurde. Auf Rechnung der Compression der Luft kommt also beim ersten Versuch eine Temperaturerhöhung von 0,346° F.

Nach Vornahme der nöthigen Reductionen und Correctionen ergab sich nun, daß durch das Zusammenpressen von 2956 Cubikzoll trockener Luft von

atmosphärischer Dichtigkeit in einem Raume von 136,5 Cubikzoll, so viel Wärme entwickelt wurde, als nöthig, um das Gewicht von 1 Pfd. Wasser um 13,628° F. zu erwärmen. Es ist dies gleich der Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Temperatur von 3437 Grm. Wasser um 1° C. zu erhöhen.

Suchen wir nun die mechanische Kraft zu bestimmen, welche erforderlich ist, um 2956 Cubikzoll Luft von atmosphärischer Dichtigkeit bis zu einer 21,654fachen Dichtigkeit zu comprimiren. Zu diesem Zweck wollen wir uns die genannte Luftmenge in einer 21,654 Fuß langen Röhre *a b* (Fig. 592) von

Fig. 592.



solchem Querschnitt (11,376 Quadratzoll) enthalten denken, daß der Inhalt eines 1 Fuß langen Stückes dieser Röhre dem Inhalte des Gefäßes *A* gleich ist (136,5 Cubikzoll), so wird offenbar die besagte Compression erfolgen, wenn man einen Kolben von dem oberen Ende *a* bis zu dem Punkte *c* heruntertreibt, welcher noch 1 Fuß hoch über dem Boden der Röhre steht. Werden nun an verschiedenen Stellen des Rohres rechtwinkelig zu seiner Axe Linien gezogen, deren Länge stets dem Drucke proportional ist, unter welchem die eingeschlossene Luft steht, wenn der Kolben bis zu dieser Stelle herabgedrückt ist (die Linie *cg* muß also 21,654mal so groß sein als *af*), so ist die Kurve *fhg*, welche die Endpunkte dieser Linien verbindet, ein Stück einer gleichseitigen Hyperbel, und der hyperbolische Flächenraum *acghf* stellt dann die Kraft dar, welche verwendet werden muß, um den Kolben von *a* bis *c* herabzudrücken. Bezeichnen wir *gc* mit *y*, *bc* mit *x* und *ba* mit *x'*, so ist der fragliche Flächeninhalt

$$H = x \, . \, y \, . \, log\,nat. \frac{x'}{x}$$

und wenn $x = 1$

$$H = y \log nat.\, x'$$

oder

$$H = 2{,}3026 \,.\, y \,.\, log.\, x' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

wenn *log.* gewöhnliche, auf die Basis 10 sich beziehende Logarithmen bezeichnet. Bei Anstellung der Versuche war der Barometerstand 30,2 englische Zoll, das macht auf den Querschnitt unserer Röhre 168,5 Pfund. Die Linie *fa* repräsentirt uns also den Druck 168,5, *gc* aber den Druck 21,654 $\times$ 168,5 = 3648,7. Setzen wir nun in Gl. (1) $x' = 21{,}654$ und $y = 3648{,}7$, so kommt

$$H = 2{,}3026 \times 3648{,}7 \; log.\, 21{,}654 = 11220 \text{ Fußpfund}$$

als der Kraftaufwand, welcher nöthig ist, um 2956 Cubikzoll Luft von atmosphärischer Dichtigkeit auf einen 21,654mal kleineren Raum zusammenzupressen, wobei, wie wir gesehen haben, 3437 Wärmeeinheiten entwickelt werden.

Diesen Versuchen zu Folge sind also 3437 Wärmeeinheiten das thermische Aequivalent für einen Kraftaufwand von 11220 Fußpfund oder 1552 Kilogrammometer. Um 1 Wärmeeinheit durch Compression der Luft zu erzeugen, ist demnach ein Kraftaufwand von 0,451 Kilogrammometern nöthig.

Um die Wärmebindung zu messen, welche beim Ausströmen comprimirter Luft erfolgt, wurde das Gefäß *A*, nachdem in ihm die Luft bis auf 22 Atmosphären comprimirt war, in ein Wasserbehälter eingesetzt, welches 21 Pfd. Wasser enthielt. Als nun die comprimirte Luft durch ein Bleirohr aus dem Gefäß *A* ausströmte, wurde die Temperatur des umgebenden Wassers um 4,1° F. erniedrigt. Mit Berücksichtigung aller nothwendigen Correctionen berechnet sich hieraus, daß die Wärmemenge, welche beim Ausströmen der Luft aus dem Gefäß *A* verschwindet, ungefähr eben so groß ist, wie die, welche durch die Compression der Luft in dem Gefäß *A* entwickelt wird.

Bei diesem Versuche hatte die ausströmende Luft den Widerstand der Atmosphäre zu überwinden, also eine mechanische Arbeit zu verrichten.

Bei einer anderen Versuchsreihe wurde an das Behälter *A*, in welchem Luft bis auf 22 Atmosphären zusammengepreßt war, ein gleich großes luftleer gemachtes Gefäß *B* mittelst eines kurzen Metallrohrs angeschraubt, und nachdem beide Gefäße *A* und *B* in ein und dasselbe 16½ Pfd. Wasser haltende Behälter eingesetzt worden waren, ein passend construirter Hahn geöffnet, so daß die Hälfte der in *A* comprimirten Luft nach *B* überströmen konnte.

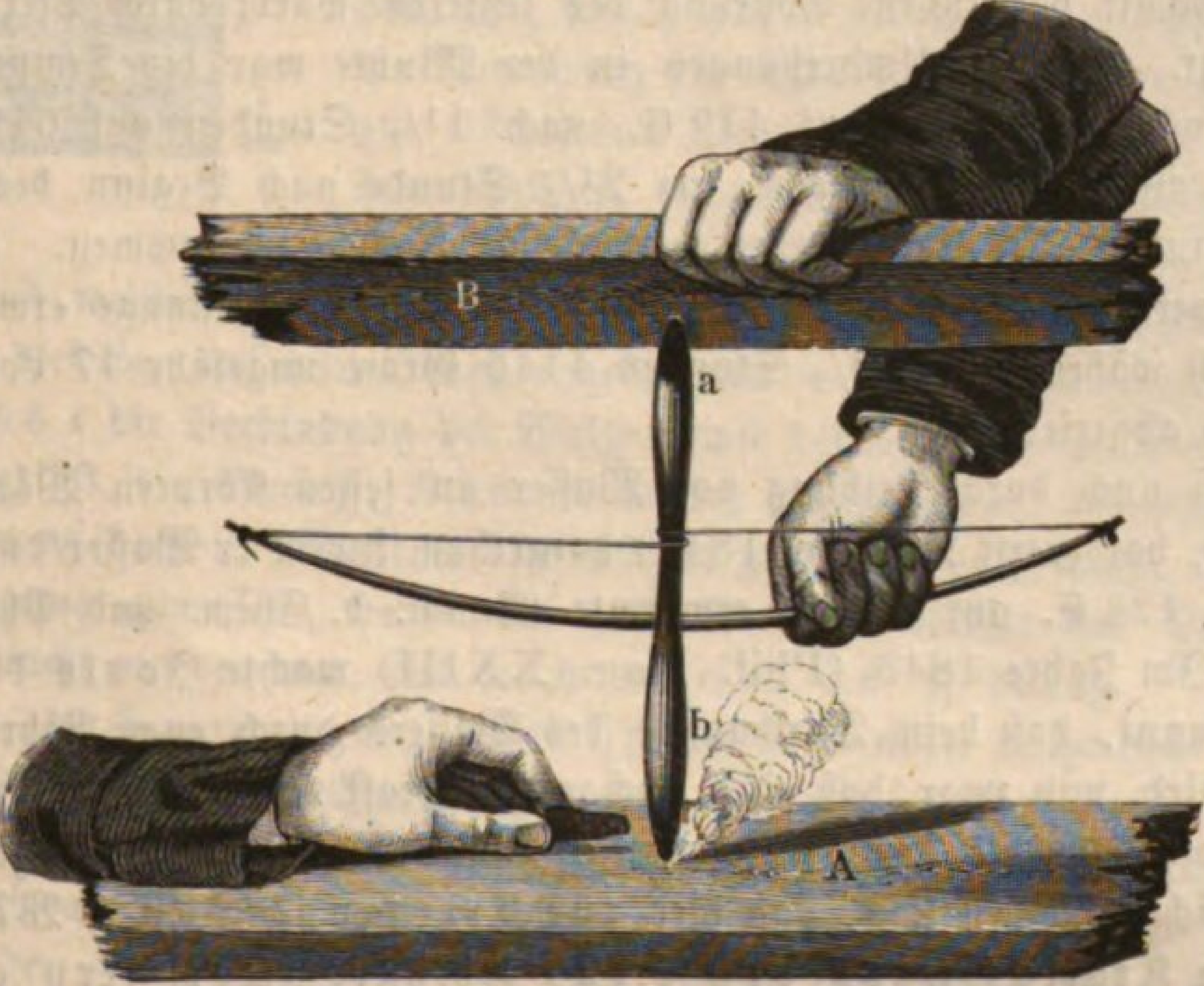
Bei diesem Vorgange wurde keine Temperaturveränderung in dem die Gefäße *A* und *B* umgebenden Wasser beobachtet, woraus Joule den Schluß zieht, daß keine Temperaturveränderung eintritt, wenn sich Luft in der Weise ausdehnt, daß sie keine mechanische Kraft erzeugt.

Als die beiden Behälter *A* und *B* in getrennte Wassergefäße gesetzt wurden, ergab sich in dem Gefäße, welches das Behälter *A* enthielt, aus welchem die comprimirte Luft ausströmte, eine Temperaturerniedrigung von 2,36° F., während das Wasser, welches das Behälter *B* umgab, in welches die Luft einströmte, eine fast gleiche Temperaturerhöhung erhielt.

Wärmeentwickelung durch Reibung. Auch feste Körper können 249
durch kräftige Compression bedeutend erhitzt werden, wie man dies beim Hämmern der Metalle und beim Prägen der Münzen beobachten kann; unter allen mechanischen Mitteln Wärme zu erzeugen, ist aber keines von größerer Bedeutung als die Reibung, denn die Reibung ist es, welche man fast durchgängig benutzt, um sich Feuer zu verschaffen.

Es ist bekannt, daß die Wilden die Reibung zweier Holzstücke benutzen, um Feuer zu machen; Fig. 593 zeigt z. B. eine Vorrichtung, deren sich die

Fig. 593.



Dacota-Indianer zu diesem Zwecke bedienen. Ein ungefähr 6 Zoll langer, an beiden Enden etwas zugespitzter Stab *ab* von hartem trockenen Holz wird in eine kleine Vertiefung des Brettes *A* eingesetzt, auf das obere Ende das Brett *B* aufgedrückt und dann auf die aus der Figur ersichtliche Weise der Stab in rasche Drehung versetzt. Sobald sich Feuer zeigt, nähert eine zweite Person ein Stück Feuerschwamm, um dasselbe zu entzünden.

Das Feuermachen mit Stahl und Stein beruht gleichfalls nur auf der Anwendung der durch Reiben entwickelten Wärme, welche hinreicht, um einzelne abgerissene Stahlpartikelchen zum Glühen zu erhitzen, und die jetzt allgemein verbreiteten Streichzündhölzchen werden ebenfalls durch die Wärme entzündet, welche schon durch eine gelinde Reibung der Zündmasse entwickelt wird.

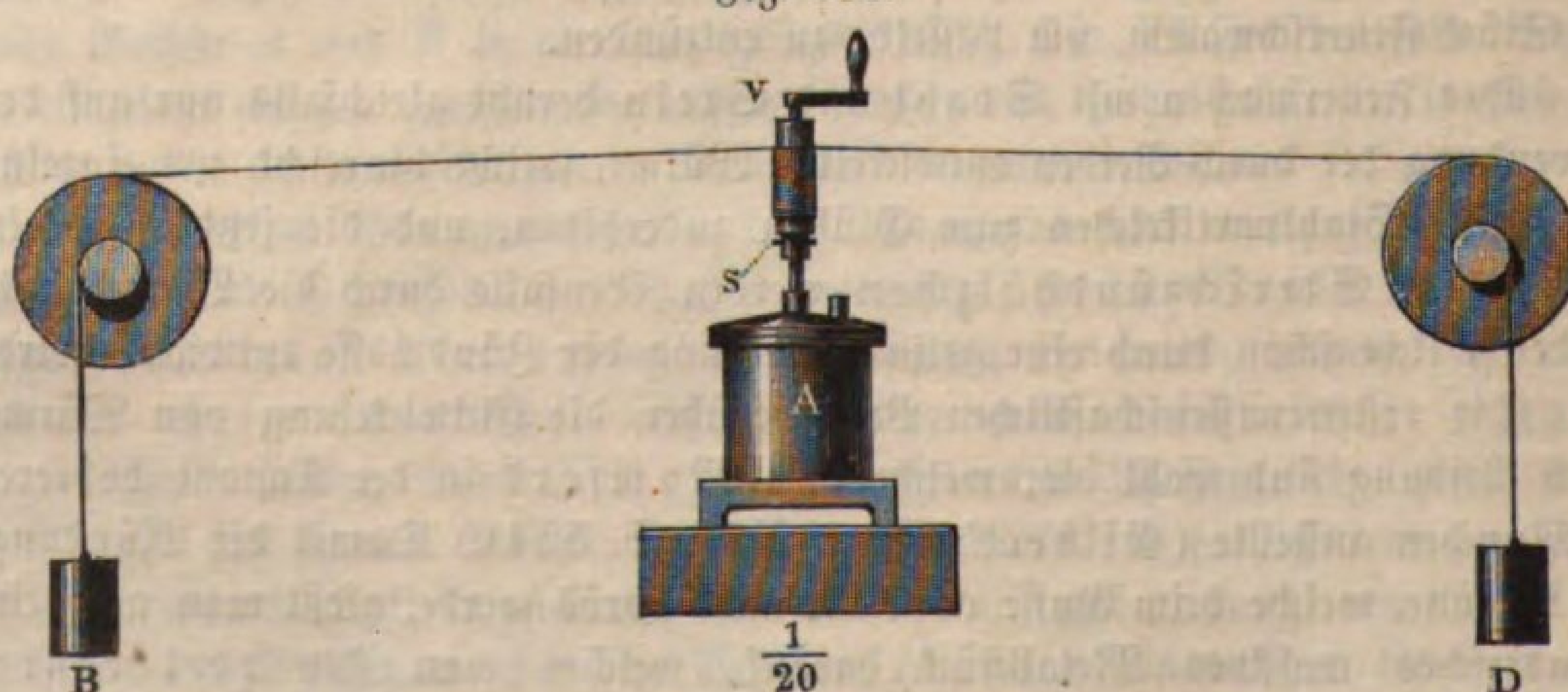
Die ersten wissenschaftlichen Versuche über die Entwickelung von Wärme durch Reibung sind wohl die, welche Graf Rumford in der Kanonenbohrerei zu München anstellte (Gilbert's Ann. XII. S. 554). Damit die Mündung der Kanone, welche beim Gusse oben ist, nicht porös werde, gießt man noch ein cylindrisches massives Metallstück darauf, welches man den verlorenen Kopf nennt. Aus dem verlorenen Kopfe eines metallenen Sechspfünders ließ

Rumford einen 9,8 Zoll langen und 7,75 Zoll dicken Cylinder drehen, welcher mit der Kanone nur noch durch einen kleinen Hals zusammenhing. Bei einem der von Rumford angestellten Versuche befand sich dieser Cylinder (dessen Axe gleich der Axe der Kanone und dem Bohrer, wie gewöhnlich, horizontal lag) in der Mitte eines hölzernen oben offenen Kastens; durch die eine Seitenwand des Kastens ging der erwähnte Hals wasserdicht hindurch, aber so, daß er sich darin drehen konnte. In der gegenüberstehenden Wand war die eiserne Bohrstange befestigt. In den Kasten wurden $18^3/_4$ Pfund Wasser gegossen. Die Umdrehung der Kanone und des mit Wasser umgebenen Cylinders, also auch die damit verbundene Bohrung des letzteren wurde durch Pferdekraft bewerkstelligt. Bei 32 Umdrehungen in der Minute war die Temperatur des Wassers nach 1 Stunde auf 41° C., nach $1^1/_2$ Stunden auf 61°, nach 2 Stunden auf 81° C. gestiegen, um $2^1/_2$ Stunde nach Beginn des Versuchs zum Erstaunen aller Umstehenden wirklich ins Kochen zu kommen. Zu derselben Temperatur waren auch der Cylinder und die Bohrstange erwärmt. Es hatten sich während der $2^1/_2$ Stunden 4145 Gran (ungefähr 17 Loth) Bohrspähnchen abgerieben.

Daß auch durch Reibung von Wasser an festen Körpern Wärme entwickelt wird, hat zuerst Mayer (1842) dargethan, indem er Wasser durch Schütteln von 12° C. auf 13° C. erwärmte (Annal. d. Chem. und Pharm. Mai 1842). Im Jahre 1843 (Phil. Mag. XXIII) machte Joule die Erscheinung bekannt, daß beim Durchgange des Wassers durch enge Röhren Wärme erzeugt wird, und zwar, daß eine mechanische Kraft von 770 Fußpfunden verbraucht wird, um die Temperatur von 1 Pfund Wasser um 1° F. zu erhöhen, woraus sich berechnen läßt, daß hier zur Erzeugung von 1 Wärmeeinheit ein Kraftaufwand von 0,421 Kilogrammometern erforderlich ist, ein Resultat, welches von dem im vorigen Paragraphen besprochenen, durch Compression der Luft erhaltenen, nicht viel verschieden ist.

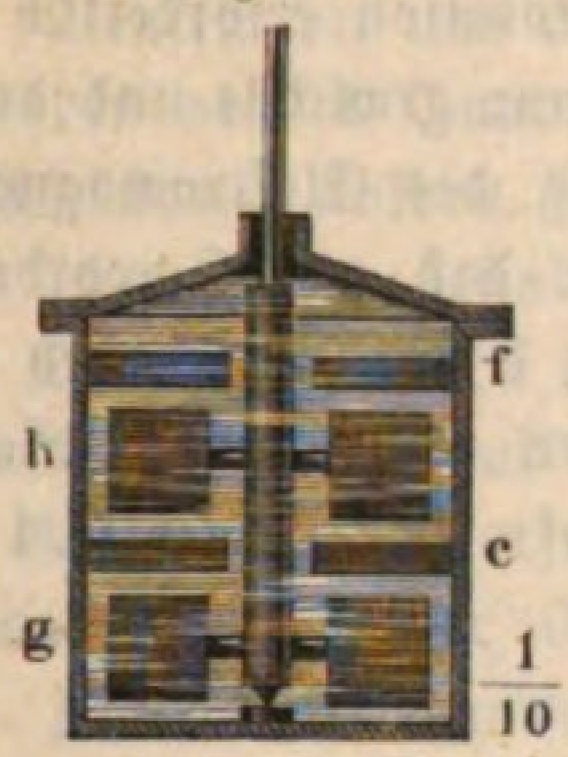
Auch noch auf anderem Wege versuchte Joule das Verhältniß der durch Reibung erzeugten Wärme zu der dabei aufgewendeten mechanischen Kraft zu ermitteln. In einem kupfernen Gefäße *A*, Fig. 594, war um eine verticale

Fig. 594.



Axe ein Schaufelrad drehbar, dessen Einrichtung aus Fig. 595 zu ersehen ist: acht Schaufeln von Messingblech, 45° von einander abstehend, befinden sich in der Höhe *h*, acht andere in der Höhe *g*. Sie bewegen sich zwischen Metallplatten, welche an der Wand des Gefäßes befestigt sind, und von denen vier, um einen rechten Winkel von einander abstehend, sich in der Höhe von *f*, vier andere in der Höhe von *c* befinden.

Fig. 595.



Das Gefäß *A*, welches auf einem Schemel von Holz stand, wurde mit Wasser gefüllt und dann die Umdrehung des Schaufelrades in der aus der Figur ersichtlichen Weise durch die Gewichte *B* und *D* bewerkstelligt, welche durch ihr Niedersinken die Axe des Schaufelrades in gleicher Richtung in Bewegung setzten und welche ungefähr eine Höhe von 63 Zoll zu durchfallen hatten. Nachdem dieselben auf dem Boden angekommen waren, wurde durch Ausziehen des Stiftes *s* die Verbindung der Walze *v* mit der Umdrehungsaxe des Schaufelrades gelöst, die Gewichte *B* und *D* wieder aufgewunden, und dann dieselbe Operation wiederholt. Nachdem dies 20mal geschehen war, wurde die Temperaturerhöhung gemessen, welche auf diese Weise im Wasser des Behälters *A* hervorgebracht worden war, und welche ungefähr 0,6° F. betrug.

Die zur Hervorbringung dieses Effectes verwendete mechanische Kraft ergiebt sich, wenn man die Gewichte mit dem Gesammtfallraum multiplicirt, welchen sie durchlaufen haben, wobei jedoch die Beschleunigung in Abzug zu bringen ist, mit welchem die Gewichte jedesmal am Boden ankommen.

In der erwähnten Weise hat nun Joule eine große Reihe von Versuchen angestellt, und berechnet aus ihnen, als Mittel nach Anbringung der nöthigen Correctionen, daß ein Kraftaufwand von 773,64 Fußpfund unter den erwähnten Umständen so viel Wärme entwickelt, als nöthig ist, um die Temperatur von 1 Pfund Wasser um 1° F. zu erhöhen, oder mit anderen Worten, daß 1 Wärmeeinheit das thermische Aequivalent eines mechanischen Kraftaufwandes von 0,425 Kilogrammometern ist.

Die Reibung eines eisernen Schaufelrades in Quecksilber ergab 776,3 Fußpfund, und die Reibung gußeiserner Platten an einander ergab 774,88 Fußpfund als Kraftaufwand, welcher nöthig ist, um die Temperatur von 1 Pfd. Wasser um 1° F. zu erhöhen.

Ein von diesem nicht sehr verschiedenes Resultat erhielt Joule, als er die Wärmemenge, welche in den Windungen eines Elektromagneten frei wird, wenn derselbe zwischen kräftigen Magnetpolen rotirt, mit der mechanischen Kraft verglich, welche zur Hervorbringung dieser Rotation nöthig ist (Phil. Mag. XXIII). Die in den Windungen des rotirenden Elektromagneten frei entwickelte Wärme wurde dadurch bestimmt, daß derselbe in der Weise vor einer Glasröhre steckte, daß der Zwischenraum zwischen dem Elektromagnet und der Glaswand ein nach allen Seiten verschließbares Gefäß bildete, welches mit

Wasser gefüllt wurde. Durch die bei der Rotation des Elektromagneten entwickelte Wärme wurde die Temperatur des denselben umgebenden Wassers erhöht und diese Temperaturerhöhung gemessen. — Um die mechanische Kraft bestimmen zu können, welche zur Hervorbringung der Rotation erforderlich ist, wurde um die Verlängerung der Rotationsaxe eine Schnur gewickelt und durch ein an dieser Schnur hängendes Gewicht die Umdrehung des Elektromagneten bewerkstelligt. Aus diesen Versuchen berechnete Joule, daß zur Hervorbringung einer Wärmemenge, welche 1 Pfund Wasser um 1° F. zu erhöhen im Stande ist, eine mechanische Kraft von 838 Fußpfunden nöthig sei, also 1 Wärmeeinheit entsprechend ist einem Kraftaufwande von 0,460 Kilogrammometern.

250 **Das mechanische Aequivalent der Wärme.** Die Idee, daß es zwischen mechanischer Arbeit und Wärme, wie zwischen Ursache und Wirkung, ein Aequivalent geben muß, scheint zuerst von Mayer in dem bereits im vorigen Paragraphen angeführten Aufsatz ausgesprochen worden zu sein; genaue Versuche zur Ermittelung dieses Aequivalents hat aber bis jetzt nur Joule angestellt. Als Mittel aus den in den beiden letzten Paragraphen besprochenen Versuchen ergiebt sich das Resultat, daß zur Hervorbringung von einer Wärmeeinheit auf mechanischem Wege ein Kraftaufwand von 0,436 Kilogrammometern nöthig sei.

Wie man aber durch mechanische Arbeit Wärme erzeugen kann, so ist auch umgekehrt die Wärme im Stande, mechanische Effecte hervorzubringen, wie dies z. B. die Dampfmaschine beweist, und es ist wichtig, zu ermitteln, wie groß die mechanische Arbeit sei, welche durch Verbrauch einer Wärmeeinheit geleistet werden kann.

Aus dem Betriebe einer Dampfmaschine läßt sich dies Aequivalent nicht wohl ableiten, weil hier offenbar eine große Menge Wärme verloren geht, welche dem mechanischen Effect nicht zu gute kommt; allein man kann dieses Aequivalent auf theoretischem Wege berechnen, wenn man das Verhältniß der specifischen Wärme der Gase bei constantem Druck und bei constantem Volumen, so wie den Ausdehnungscoefficienten der Gase als bekannt annimmt.

1 Liter Luft von 0° und atmosphärischer Pressung (1,293 Gramm Luft) muß um 271° C. erwärmt werden, wenn bei unverändertem Volumen ihre Spannkraft auf 2 Atmosphären gesteigert werden soll. Dazu sind aber nöthig:

$$271 \times 1{,}293 \times 0{,}1686 = 59 \text{ Wärmeeinheiten,}$$

da 0,1686 die specifische Wärme der Luft bei constantem Volumen ist.

Wird aber 1 Liter Luft von 0° und atmosphärischer Pressung bis auf 271° erwärmt, während sie sich bei constantem Druck frei ausdehnen kann, so dehnt sie sich bis zum Volumen von 2 Litern aus, und die dazu nöthige Wärmemenge ist:

$$271 \times 1{,}293 \times 0{,}2377 = 83 \text{ Wärmeeinheiten,}$$

da 0,2377 die specifische Wärme der Luft bei constantem Drucke ist.

Die Differenz 83 — 59 = 24 Wärmeeinheiten ist also nöthig, um, ab-

gesehen von der Temperaturerhöhung, das Gas bei constantem Druck auf das doppelte Volumen auszudehnen. Untersuchen wir nun, wie groß die dabei geleistete mechanische Arbeit ist.

Denken wir uns das besprochene Liter Luft eingeschlossen in einem hohlen Cylinder von 1 Quadratdecimeter Querschnitt und oben begränzt durch einen verschiebbaren Kolben, der sich in seiner Anfangsstellung 1 Decimeter hoch über dem festen Boden befindet. Auf diesem Kolben lastet die Atmosphäre mit einem Druck von 103,3 Kilogrammen. Soll nun die abgesperrte Luft bei unverändertem Druck auf das doppelte Volumen ausgedehnt werden, so muß sie den Kolben um 1 Decimeter (0,1 Meter) fortschieben, was einer mechanischen Arbeit von $103{,}3 \times 0{,}1 = 10{,}33$ Kilogrammometern entspricht.

Um eine mechanische Arbeit von 10,33 Kilogrammometern zu verrichten, sind also 24 Wärmeeinheiten nöthig; 1 Wärmeeinheit entspricht also einer mechanischen Arbeit von $\frac{10{,}33}{24} = 0{,}430$ Kilogrammometern, ein Resultat, welches mit dem auf dem umgekehrten Wege, nämlich durch Umsetzung mechanischer Arbeit in Wärme erhaltenen, so nahe übereinstimmt, daß wohl kein Zweifel über die vollständige Gegenseitigkeit zwischen mechanischer Arbeit und Wärme mehr stattfinden kann.

Vergleichen wir nun den mechanischen Effect, den wir mit unseren Dampfmaschinen erzielen, mit der Wärmeconsumption, so finden wir freilich, daß nur ein sehr geringer Theil der verbrauchten Wärme dem mechanischen Effect zu Gute kommt. Eine Dampfmaschine von 1 Pferdekraft leistet in 1 Stunde eine Arbeit von 27000 Kilogrammometern. Um diesen Effect zu erhalten, müssen aber in der Stunde 15 Kilogramm Wasser im Kessel verdampft werden, wozu 810000 Wärmeeinheiten erforderlich sind. Auf 1 Wärmeeinheit erhalten wir also mittelst der Dampfmaschine einen mechanischen Effect von 0,033 Kilogrammometern, also ungefähr nur $\frac{1}{13}$ des mechanischen Aequivalents der Wärme.

Es erklärt sich dies vorzugsweise dadurch, daß nur ein geringer Theil der dem Wasser im Kessel zugeführten Wärme zur Hervorbringung mechanischer Effecte benutzt wird, während der größte Theil derselben als gebundene Wärme durch den entweichenden Dampf der Maschine wieder entführt wird.

Mechanische Theorie der Wärme. Zur Erklärung der Wärme- 251
phänomene sind zwei wesentlich verschiedene Hypothesen aufgestellt worden. Nach der ersten ist die Wärme als ein imponderabeles Fluidum zu betrachten, welches die materiellen Moleküle gleichsam umhüllend die Zwischenräume zwischen den Atomen mehr oder weniger erfüllt. Die Wärmeatmosphären, welche die einzelnen Atome nach dieser Ansicht umhüllen, üben eine abstoßende Wirkung auf einander aus, vermöge deren die Wärme der Cohäsion der materiellen Moleküle entgegenwirkt (Band I, S. 29). Um einen Körper zu erwärmen, muß man die Menge des in ihm enthaltenen Wärmestoffes vermehren. Nach

dieser Hypothese ist oben die Lehre vom Binden der Wärme beim Schmelzen und Verdampfen, so wie vom Freiwerden der Wärme bei der Rückkehr von Dämpfen in den tropfbar flüssigen Zustand und beim Erstarren der Flüssigkeiten vorgetragen. Den Ausdrücken »gebundene oder latente Wärme« und »freie Wärme« liegt diese Anschauungsweise zu Grunde.

In der That können wir auch bei dem gegenwärtigen Stande der Wissenschaft diese Hypothese bei der Darstellung der Wärmelehre noch nicht wohl entbehren, obgleich vielfache Thatsachen dagegen sprechen, daß es in dem oben bezeichneten Sinne einen Wärmestoff gebe und daß die Wärmeerscheinungen durch das bloße Vorhandensein der Wärmeatmosphären hervorgebracht würden.

Die intime Beziehung zwischen Licht- und Wärmestrahlen führt schon darauf hin, auch die Ursache der Wärmephänomene in Vibrationsbewegungen zu suchen. Was aber ganz besonders darauf hinweist, die Wärme als ein Phänomen der Molekularbewegung aufzufassen, ist die Wärmeproduction durch mechanische Mittel und namentlich durch Reibung.

Durch Bewegung, durch Reibung kann kein Wärmestoff erzeugt werden; woher also die bedeutende Wärmeentwickelung bei dem Rumford'schen Bohrversuch? H. Davy brachte durch Reibung zwei Eisstücke in einem luftleeren unter den Gefrierpunkt erkalteten Raume zum Schmelzen. Von einer Zuleitung der Wärme von Außen kann hier so wenig, wie beim Rumford'schen Versuch die Rede sein, woher soll also die zum Eisschmelzen nöthige Wärme in diesem Falle kommen, wenn sie nicht in Molekularvibrationen besteht, welche durch die Reibung angeregt wurden?

Schon Locke sagt: »Die Wärme ist eine sehr lebhafte Erschütterung der unmerkbar kleinen Theile eines Körpers, welche uns das Gefühl hervorbringt, wonach wir den Körper warm nennen; also was für unser Gefühl Wärme ist, ist in der Wirklichkeit nichts Anderes als Bewegung.« Die ersten Experimente zu Gunsten dieser Ansicht hat Graf Rumford angestellt, welcher denn auch in den bereits in §. 249 besprochenen Versuchen einen schlagenden Beweis dafür findet, daß die Wärme als Bewegungsphänomen aufzufassen sei, und ebenso schloß Humphry Davy aus der eben erwähnten durch Reibung bewirkten Schmelzung von Eis, daß die Bewegung die unmittelbare Ursache der Wärmeerscheinungen sei.

In neuester Zeit ist diese Ansicht von den ausgezeichnetsten Physikern wieder mit aller Entschiedenheit aufgenommen worden, und es steht zu hoffen, daß es bald gelingen werde, die Vibrationstheorie in der Wärmelehre eben so vollständig durchzuführen, wie in der Optik, also Ausdehnung, Schmelzung, Verdampfung, latente Wärme, specifische Wärme u. s. w. nicht allein der Art, sondern auch der Größe nach aus dieser Hypothese zu erklären.

Wenn man die Wärmeerscheinungen als Resultat einer Molekularbewegung betrachtet, so hat die Erklärung des mechanischen Aequivalents der Wärme keine Schwierigkeit mehr. Die Umwandlung mechanischer Kraft in Wärme ist dann Nichts als eine Umsetzung von Massenbewegung in Molekularbewegung, während umgekehrt die Leistung mechanischer Arbeit durch die Wärme als eine

Verwandlung der Molekularbewegung in Massenbewegung aufgefaßt werden muß.

Aus der mechanischen Wärmetheorie ergiebt sich als nothwendige Folgerung, daß immer eine entsprechende Menge Wärme als solche verschwindet, sobald durch Wärme eine mechanische Arbeit verrichtet wird. Wir haben oben Seite 698 gesehen, daß, wenn 1,293 Gramm Luft von 0° bis 271° erwärmt werden, und sich dabei unter dem Druck der Atmosphäre auf das doppelte Volumen ausdehnen, daß dadurch eine mechanische Arbeit von 10,33 Kilogrammometern geleistet wird. Zur Hervorbringung dieses Effectes sind aber 24 Wärmeeinheiten mehr erforderlich, als wenn man das Liter Luft bei constantem Volumen auf 271° erwärmt hätte. Wenn nun wirklich die 10,33 Kilogrammometer das mechanische Aequivalent für 24 Wärmeeinheiten sind, so müssen diese 24 Wärmeeinheiten auch bei Hervorbringung jener mechanischen Arbeit vollständig verbraucht sein, sie können nicht mehr in der aufs doppelte Volumen ausgedehnten Luft enthalten sein, oder mit anderen Worten: wenn 1,293 Gramm Luft bei einer Temperatur von 271° das Volumen von 2 Litern einnehmen, so ist in dieser Luftmasse nicht mehr Wärme enthalten, als wenn sie bei gleicher Temperatur nur den Raum von 1 Liter erfüllte.

Daraus folgt aber dann ferner, daß, wenn Luft ohne Wärmezuführung sich ausdehnen kann, ohne daß dabei eine mechanische Arbeit verrichtet wird, keine Wärmeverbindung erfolgen darf, wofür auch der auf Seite 694 besprochene Versuch Joule's spricht.

Die Dynamiden. Die in den letzten Paragraphen besprochenen Thatsachen drängen unwiderstehlich darauf hin, die Wärme als ein mechanisches 252
Phänomen aufzufassen, sie als das Resultat einer Vibrationsbewegung darzustellen. Will man die Wärmeerscheinungen auf Vibrationen zurückführen, so muß man sich vor allen Dingen eine bestimmte Vorstellung über das Wesen der Materie und des Stoffes bilden, durch dessen Oscillationsbewegung man die Wärme erklären will, und muß dann von dieser möglichst bestimmt formulirten Hypothese aus die Wärmelehre zu construiren suchen.

Derartige Versuche sind von verschiedenen Physikern gemacht worden, namentlich aber von Krönig, Clausius und Redtenbacher.

Krönig und Clausius (Pogg. Annal. XCIX und C) nehmen an, daß die im Verhältniß zu den Zwischenräumen verschwindend kleinen Moleküle der Gase und Dämpfe sich in gerader Linie mit constanter Geschwindigkeit fortbewegen, bis sie gegen andere Gasmoleküle oder gegen eine für sie undurchdringliche Wand stoßen. Der Druck des Gases gegen eine feste Wand hat dann seinen Grund darin, daß die Moleküle fortwährend in großer Zahl gegen die Wand fliegen und von ihr abprallen. Durch wachsende Temperatur wird die Geschwindigkeit gesteigert, mit welcher sich die Gasmoleküle bewegen, und zwar ist die Temperatur dem Quadrat dieser Geschwindigkeit proportional.

Bei den festen Körpern oscilliren die Moleküle um eine feste Gleichgewichtslage; bei den flüssigen findet zwar eine solche Gleichgewichtslage nicht

mehr Statt, allein die Moleküle sind doch trotz ihrer beständigen und mannigfaltigen Bewegungen an bestimmte Abstände gebunden, sie können nicht frei auseinander fahren wie bei den Gasen.

Während nun die oben genannten Gelehrten die Ursache der Wärmephänomene in einer Bewegung der Körperatome selbst suchen, betrachtet Redtenbacher die Oscillation der die Körperatome einhüllenden Aetheratome als Quelle der Wärmephänomene, wie er dies in seinem ausgezeichneten »Dynamidensystem« (Mannheim 1857) entwickelt. Er geht dabei von folgender Grundansicht über die Constitution der Materie aus:

Die Körpersubstanzen enthalten nebst den trägen und schweren Körperatomen noch den ebenfalls aus Atomen bestehenden Aether. Die Aetheratome sind gleichfalls träge, aber nicht schwer; sie sind sehr klein im Verhältniß zu den Körperatomen.

Die Körperatome ziehen sich einander an.

Die Aetheratome stoßen sich einander ab.

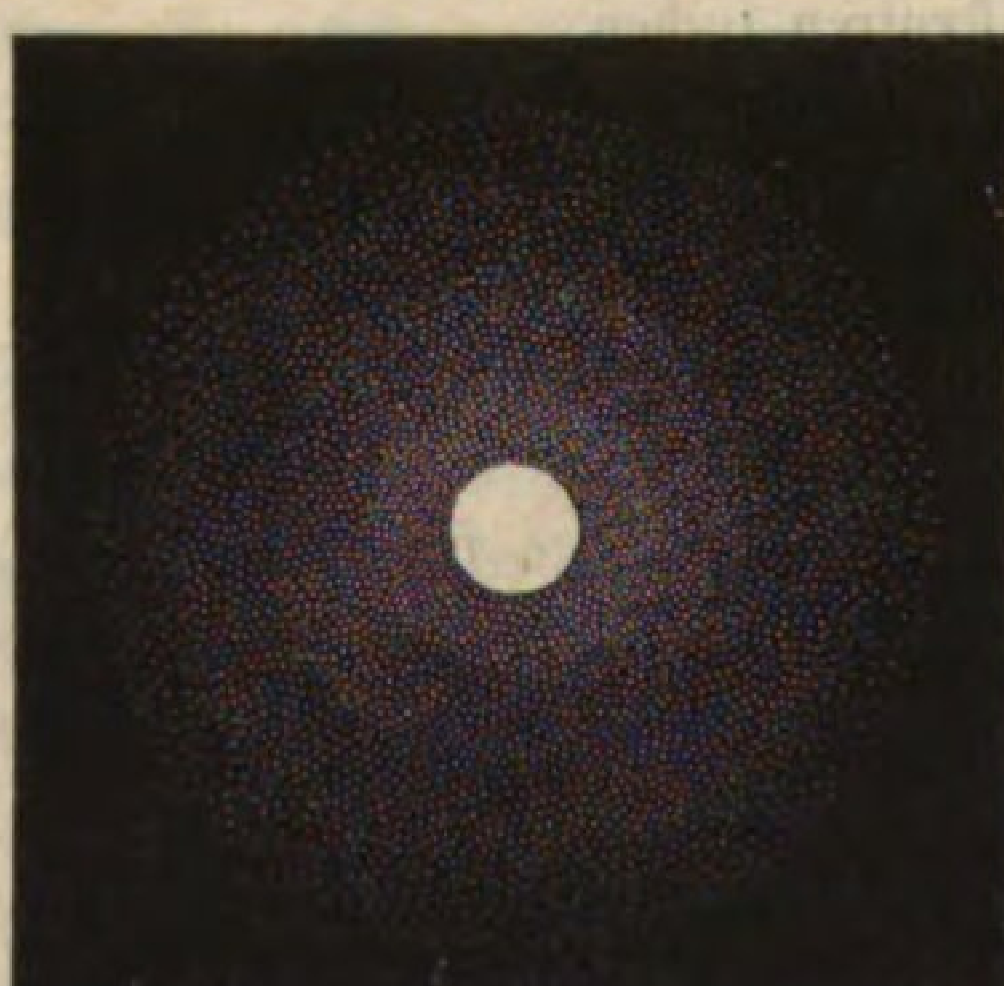
Zwischen den Körperatomen und den Aetheratomen findet Anziehung statt, jedoch nur auf kleine Entfernungen.

Vermöge der wechselseitigen Abstoßung der nicht schweren Aetheratome verbreitet sich der Aether in dem ganzen unendlichen Raum und durchdringt alle Körper. Durch die Körperatome angezogen muß sich der Aether um dieselben concentriren, ein jedes Körperatom ist also gleichsam von einer Aether-Atmosphäre eingehüllt.

Ein Körperatom mit der dasselbe umgebenden Aetherhülle nennt Redtenbacher eine Dynamide. Eine Substanz aber, welche durch eine Gleichgewichtslagerung solcher Dynamiden besteht, nennt er ein Dynamidensystem.

Fig. 596 kann das Bild einer Dynamide darstellen. Was die Gestalt derselben anlangt, so muß man zur Erklärung der Krystallisation und der damit zusammenhängenden Erscheinungen annehmen, daß die Körperatome und die Dynamiden nicht nothwendig kugelförmig sind, sondern man wird zur Erklärung bestimmter Erscheinungen irgend anders gestaltete Körperatome und Dynamiden postuliren müssen.

Fig. 596.



Im vollkommenen Gleichgewichtszustande mit sich selbst und mit den Attractivkräften der Körperatome erscheint der Aether nur als repulsives Princip, welches die Körperatome in gewissen Entfernungen und Gruppirungen erhält. In diesem Ruhezustande des Aethers sind die Körper absolut kalt.

Befindet sich dagegen der Aether in den Körpern in einem Bewegungszustande, bei welchem die Aetheratome der Hüllen gegen die Kerne der Dynamiden nach normalen Richtungen schwingen, so sind die Körper erwärmt.

Die Temperatur eines Körpers hängt von dem Schwingungszustande des Aethers ab, und zwar ist sie der mittleren lebendigen Kraft des einzelnen Aetheratoms proportional und von der Dichte des Aethers in den Körpern unabhängig.

Nennen wir also ϱ die Masse eines Aetheratoms, u den wahren mittleren Werth der Schwingungsgeschwindigkeit des Aetheratoms, T die entsprechende Temperatur und k einen constanten Factor, so ist

$$kT = \varrho u^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1).$$

Um die dem Schwingungszustande entsprechende Temperatur nach Graden einer gewöhnlichen Thermometerscala auszudrücken, muß der Ausdruck 1) modificirt werden. Nennen wir t die Gradzahl des hunderttheiligen Thermometers, welche der Schwingungsgeschwindigkeit u entspricht, bezeichnen wir mit u_0 die dem Nullpunkte des Celsius'schen Thermometers entsprechende Schwingungsgeschwindigkeit, so ist

$$kt = \varrho\,(u^2 - u_0{}^2).$$

Nach dieser Ansicht kann die specifische Wärme eines Stoffes nur noch durch die Anzahl der vibrirenden Aetheratome bedingt sein, welche in der Gewichtseinheit des Stoffes enthalten sind. Die Thatsache, daß das Product der specifischen Wärme eines Körpers mit dem Atomgewichte desselben eine constante Zahl ist, erklärt sich dann ganz einfach durch die Annahme, daß die Dynamiden aller einfachen Stoffe gleich viel Aetheratome enthalten.

Bei chemischen Processen wird Aether ausgeschieden und zwar nicht in ruhendem, sondern in bewegtem Zustande, und daher rühren, nach Redtenbacher's Ansicht, die Wärme-, Licht- und Elektricitätserscheinungen, von welchen die chemischen Processe begleitet sind.

Nennen wir p die Spannkraft einer abgesperrten Gasmasse bei 0°, so ist ihre Spannkraft nach dem Mariotte-Gay-Lussac'schen Gesetz bei t^0 C. gleich $p\,(1 + 0{,}00365\,t)$; die Spannkraft des abgesperrten Gases wird also gleich Null, wenn $1 + 0{,}00365\,t = 0$, d. h. wenn $t = -273^0$ C. ist. Bei einer Temperatur, welche 273° C. unter dem Gefrierpunkte des Wassers liegt, verlieren also die Gase ihre Spannkraft, und diese Temperatur ist es, welche man als den absoluten Nullpunkt der Temperatur bezeichnet hat. Nach dem Redtenbacher'schen System ist diese Temperatur aber keine andere, als diejenige, für welche die Vibrationen der Aetheratome aufhören. Nach der Ansicht von Krönig und Clausius würde bei dieser Temperatur die Bewegung der Gasmoleküle vollständig aufhören und damit auch der Stoß der Gasmoleküle gegen die Gefäßwände und der dadurch bedingte Druck gegen dieselben verschwinden.

Ob nun die eine oder die andere dieser Ansichten die richtige ist, ob also die Wärme das Bewegungsphänomen der Körperatome oder der Aetheratome

ist, müssen zukünftige Untersuchungen lehren. Da aber die mechanische Theorie der Wärme gegenwärtig mit so großem Interesse ventilirt wird, da die ausgezeichnetsten Mathematiker und Physiker ihre Kräfte an diesem schwierigen Problem versuchen, so ist zu hoffen, daß seine Lösung nicht all zu lange auf sich warten läßt.

Als vollendet wird man eine mechanische Wärmetheorie erst dann betrachten können, wenn sich aus ihr auch das Phänomen der latenten Wärme, also der Schmelzungswärme und der Verdampfungswärme ungezwungen, nicht allein der Art sondern auch der Größe nach ableiten läßt. Die Bindung der Wärme beim Uebergange eines Körpers aus dem festen in den flüssigen, sowie aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand lediglich als Bewegungsphänomen hinzustellen, ist aber meines Wissens nach nicht mit Erfolg versucht worden. Erst mit der Lösung dieser Frage dürfte der, übrigens keineswegs zweifelhafte Sieg der mechanischen Wärmetheorie entschieden sein.

Sechstes Buch.

Meteorologie.

Erstes Capitel.

Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche.

Die Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen. 253
Die Erwärmung der Erdoberfläche und der Atmosphäre, durch welche allein das Gedeihen der Pflanzen- und Thierwelt möglich ist, haben wir nur den Strahlen der Sonne zu danken, welche somit als die Quelle alles Lebens auf unserm Planeten betrachtet werden muß. — Wo die Mittagssonne vertical über den Köpfen der Bewohner steht, wo ihre Strahlen unter rechtem Winkel die Erdoberfläche treffen, da entwickelt sich eine üppige Vegetation, wenn eine zweite Bedingung ihrer Existenz, nämlich die Feuchtigkeit, nicht fehlt; wo aber die Sonnenstrahlen stets allzu schräg auffallen, um eine merkliche Wirkung hervorzubringen, da starrt die Natur von ewigem Eise, da hört alles Thier- und Pflanzenleben auf.

Indem die Sonnenstrahlen die Atmosphäre durchwandern, erleiden sie eine verhältnißmäßig geringe Absorption, weil die Luft ein sehr diathermaner Körper ist; jedenfalls ist die directe Erwärmung der Luft durch absorbirte Sonnenstrahlen eine sehr unbedeutende. Erst wenn die Sonnenstrahlen die Erdoberfläche selbst treffen, werden sie absorbirt und in fühlbare Wärme verwandelt. Durch den erwärmten Boden wird die Lufthülle der Erde von unten her erwärmt.

Die Erwärmung des Bodens hängt von der Richtung ab, in welcher die Sonnenstrahlen ihn treffen, und da diese Richtung eine nach bestimmten Gesetzen regelmäßig wechselnde ist, so ist klar, daß der Erwärmungszustand der Erdoberfläche und der unteren Schichten der Atmosphäre periodischen Variationen folgen muß, und zwar haben wir eine tägliche und eine jährliche Periode im Gange der Lufttemperatur (der Temperatur der untersten Luftschichten) zu unterscheiden.

Während der Erde durch die Sonnenstrahlen Wärme zugeführt wird, verliert sie auf der anderen Seite Wärme durch Ausstrahlung gegen die kälteren Himmelsräume. Im Allgemeinen halten sich Ein- und Ausstrahlung das Gleichgewicht, d. h. die Summe der Wärme, welche der Erde durch die Sonnen-

strahlen zugeführt wird, ist derjenigen gleich, welche sie durch Ausstrahlung verliert. Dabei ist aber die Wärme über die Erdoberfläche weder gleichförmig noch unveränderlich vertheilt. Die höchste Erwärmung der Erdoberfläche und der unteren Luftschichten finden wir in den Aequatorialgegenden, während es um so kälter wird, je mehr wir uns den Polen nähern. Fassen wir aber die Temperatur irgend eines bestimmten Ortes auf der Erdoberfläche ins Auge, so zeigt sich, daß sie beständigen Schwankungen unterworfen ist, indem in Folge der veränderlichen Stellung der Sonne gegen die Erdoberfläche bald die Einstrahlung, bald die Ausstrahlung das Uebergewicht gewinnt.

Da nun aber die Veränderungen, welche die Stellung der Sonne gegen die Erdoberfläche erfährt, an zwei Perioden, eine tägliche und eine jährliche, gebunden ist, so ist klar, daß auch die Variationen der Temperatur an irgend einem Ort der Erdoberfläche eine tägliche und eine jährliche Periode befolgen müssen.

254 **Die fünf Zonen.** Für verschiedene Gegenden der Erdoberfläche sind die Insolationsverhältnisse äußerst ungleich. Innerhalb der Wendekreise, wo Tag und Nacht das ganze Jahr hindurch fast gleich sind, wo die Sonne bei ihrem höchsten Mittagsstande das Zenith passirt, und wo die niedrigste Mittagshöhe mindestens 44° (die niedrigste Mittagshöhe der Sonne ist für die Wendekreise 43° 42′, für den Aequator 66° 32′), beträgt, wo also täglich die Sonnenstrahlen eine kräftige Wirkung ausüben können, muß auch stets eine hohe Lufttemperatur herrschen. Jener zwischen den Wendekreisen gelegene Aequatorialgürtel wird deshalb auch die heiße Zone genannt. Sie ist der Schauplatz des reichsten Thier- und Pflanzenlebens.

Den Gegensatz der heißen Zone bilden die Umgebungen der Pole.

Innerhalb der beiden von den Polarkreisen (66° 32′ nördliche und südliche Breite) begrenzten Kugelabschnitten kommt die Sonne Tage, Wochen, Monate lang gar nicht über den Horizont, und auch dann nur, um in sehr schräger Richtung den Boden zu treffen; hier also kann nur eine geringe Wärmeentwickelung stattfinden und hier starrt deshalb auch fast das ganze Jahr hindurch die Natur in Schnee und Eis.

Der von dem nördlichen Polarkreis eingeschlossene Raum wird die nördliche, der von dem südlichen Polarkreis eingeschlossene Raum wird die südliche kalte Zone genannt.

Der Gürtel zwischen dem nördlichen Wendekreis und dem nördlichen Polarkreis bildet die nördliche gemäßigte Zone, gleich wie die südliche gemäßigte Zone sich vom südlichen Wendekreis bis zum südlichen Polarkreis erstreckt. Je mehr man in diesen gemäßigten Zonen gegen die Polarkreise vordringt, desto mehr nähern sich die Temperaturverhältnisse denen der kalten Zonen.

Im Allgemeinen also sind die Temperaturverhältnisse eines Ortes eine Function seines Abstandes vom Aequator, also seiner geographischen Breite, und wenn sie nur von den Insolationsverhältnissen bedingt wären, wenn nicht andere Factoren modificirend einwirkten, so müßte die mittlere Lufttemperatur gleich

sein für alle Orte gleicher geographischer Breite. Wir werden bald sehen, daß, und warum dies nicht der Fall ist.

Die täglichen Variationen der Lufttemperatur. Wenn die 255
Sonne, nachdem sie am östlichen Himmel aufgegangen ist, höher und höher über den Horizont sich erhebt, so muß die immer kräftiger wirkende Insolation ein Steigen der Lufttemperatur zur Folge haben. Wenn die Sonne ihren höchsten Stand erreicht hat, so ist jedoch die Temperatur der Erdoberfläche noch keineswegs so hoch gestiegen, daß sie eben so viel Wärme gegen den Himmelsraum ausstrahlen könnte, als sie durch die Sonnenstrahlen empfängt. Deshalb dauert das Steigen der Temperatur noch über Mittag fort, und erst 1 bis 2 Stunden nach der Culmination der Sonne, wenn ihre Höhe schon merklich abgenommen hat, tritt ein momentaner Gleichgewichtszustand zwischen Ein- und Ausstrahlung ein, das Maximum der täglichen Temperatur findet deshalb erst um 1 bis 2 Uhr Nachmittags statt. Von da an aber gewinnt bei immer mehr sinkender Sonne die Ausstrahlung das Uebergewicht, die Temperatur sinkt anfangs langsam, dann rascher in den Abendstunden. Während der Nacht, wo gar keine Einstrahlung stattfindet, dauert das Sinken der Temperatur mit abnehmender Schnelligkeit fort, bis sie zur Zeit des Sonnenaufganges ihr Minimum erreicht hat.

Da im Sommer die Sonnenhöhen im Laufe des Tages zwischen weiteren Gränzen variiren (zwischen 0 und 63° für das mittlere Deutschland), als im Winter (zwischen 0 und 17° für den 50. Breitegrad), so ist klar, daß die Gränzen, zwischen welchen die Temperatur im Laufe eines Tages schwankt, im Sommer weiter auseinander liegen als im Winter. In der That beträgt z. B. für München die Differenz zwischen der höchsten und niedrigsten Temperatur des Tages im Monat Januar im Durchschnitt nur 2° C., während im Juli das tägliche Maximum durchschnittlich 6,2° höher ist als das tägliche Minimum.

Aus ähnlichen Gründen müssen nun auch die täglichen Temperaturschwankungen in den Aequatorialgegenden viel bedeutender sein als in höheren Breiten. Auch dies wird durch die Erfahrung bestätigt; so beobachtete z. B. Barth auf seiner Reise in das Innere von Afrika vom Aufgang der Sonne bis zum Nachmittag oft ein Steigen von 6 bis 30, ja von 8 bis 43° Celsius.

Im Allgemeinen bestätigt die Erfahrung allerdings die Resultate unserer obigen Raisonnements über den täglichen Gang der Wärme, sobald wir aber einzelne Tage herausgreifen, finden wir häufig solche Störungen des normalen Ganges, daß das Gesetz vollständig verwischt erscheint.

Von der Natur dieser Störungen und ihrer Ursachen wird weiter unten die Rede sein.

Die Jahreszeiten. Die Sonne theilt nicht allein mit dem ganzen 256
Himmelsgewölbe die tägliche Umdrehung, sondern sie legt im Lauf eines Jahres am Himmelsgewölbe eine Bahn zurück, welche zur Hälfte nördlich, zur anderen Hälfte südlich von dem Himmelsäquator liegt. Eine Folge davon ist, daß we-

nigstens in den gemäßigten Zonen Tagesdauer und Mittagshöhe der Sonne ein halbes Jahr lang zunehmen, um dann in der folgenden Jahreshälfte in gleicher Weise wieder abzunehmen. Dies hat dann den regelmäßigen Wechsel der Jahreszeiten zur Folge, deren Verlauf wir zunächst für die geographische Breite des mittleren Deutschlands betrachten wollen.

Am 21. März passirt die Sonne den Himmelsäquator, um von der südlichen auf die nördliche Himmelskugel überzugehen. Tag und Nacht sind gleich lang, und die Mittagshöhe, zu welcher die Sonne ansteigt, beträgt 40°. Nun aber findet eine rasche Zunahme der Mittagshöhe der Sonne sowohl wie auch der Tagesdauer Statt; bei immer kräftiger werdender Insolation bleibt der Boden nun länger und länger dem erwärmenden Einfluß der Sonnenstrahlen ausgesetzt, die Lufttemperatur muß also steigen.

Allmälig wird die Zunahme der Tagesdauer und der Mittagshöhe langsamer, bis endlich am 21. Juni die Sonne ihre größte nördliche Breite erreicht, und somit auch der längste Tag von 16 Stunden und die größte Mittagshöhe der Sonne von $63^1/_2$ Graden eintritt.

Aus demselben Grunde, warum das tägliche Maximum der Temperatur nicht auf die Mittagsstunde fällt, tritt auch das jährliche Temperaturmaximum nicht mit dem längsten Tage ein, sondern später, so daß im Durchschnitt der Juli der heißeste Monat ist.

Nach dem längsten Tage nimmt die Tagesdauer und die Mittagshöhe der Sonne erst langsam, dann rascher ab, und mit der rascheren Abnahme beider, stellt sich dann auch ein Sinken der Luftwärme ein. Am 22. September, dem Herbstäquinoctium, passirt die Sonne abermals den Himmelsäquator, um auf die südliche Hemisphäre der Himmelskugel überzugehen. Nun werden die Nächte länger als der Tag, die Mittagshöhe der Sonne nimmt mehr und mehr ab, bis sie am 21. December, als am kürzesten Tage (von 8 Stunden) ihr Minimum von 17 Grad erreicht. Unter diesen Umständen, da die Wirkung der ohnehin sehr schräg auffallenden Sonnenstrahlen nur auf wenige Stunden beschränkt bleibt, und der Boden die lange Nacht hindurch Wärme durch Ausstrahlung verliert, muß die Lufttemperatur bedeutend sinken; doch tritt das Minimum der Jahrestemperatur in der Regel erst gegen die Mitte des Januars ein, da unmittelbar nach dem kürzesten Tage die Zunahme der Tageslänge und der Mittagshöhe der Sonne noch zu unbedeutend ist, um ein Steigen der Temperatur bewirken zu können.

So ist denn im Allgemeinen der Gang der Lufttemperatur im Laufe des Jahres für Deutschland folgender: Von der Mitte Januar an steigt die Temperatur bis gegen die Mitte Juli, um von da allmälig bis zur Mitte Januar wieder abzunehmen. Das Steigen und Fallen der Temperatur ist am langsamsten vor und nach der Zeit des jährlichen Maximums und Minimums, am raschesten um die Zeit der Aequinoctien.

Die drei heißesten Monate, Juni, Juli und August, bilden den Sommer, die Zeit, in welcher die kräftigste Entwickelung der Vegetation vor sich geht. Den Winter bilden die drei kältesten Monate, December, Januar und Februar,

während welcher die Vegetation fast gänzlich ruht. Während des Frühlings, März, April und Mai, findet ein allmäliges Erwachen, während des Herbstes, September, October u. November, ein allmäliges Absterben der Pflanzenwelt Statt.

Die Differenz zwischen der mittleren Temperatur des heißesten und des kältesten Monats beträgt für Deutschland im Durchschnitt 16° R.

Der oben beschriebene Wechsel der Jahreszeiten bezieht sich auf Länder mittlerer geographischer Breite; in höheren wie in niederen Breiten gestaltet sich die Sache wesentlich anders.

Unter höheren Breiten wird die Dauer des kürzesten Tages immer geringer, die Sonnenhöhe immer unbedeutender, die Winterkälte muß also gegen die Pole hin immer zunehmen; zugleich aber nimmt die Dauer des Winters zu, denn während der Aequinoctialperiode ist die Wirkung der Sonnenstrahlen in jenen Ländern noch viel zu gering, um Eis und Schnee zu schmelzen oder das Gefrieren des Wassers zu verhindern, der Winter erstreckt sich also noch über einen Theil der Monate, welche bei uns den Frühling und den Herbst ausmachen. Im Sommer aber wird die im Vergleich zu unseren Gegenden geringere Mittagshöhe der Sonne (unter dem 60. Breitengrade z. B., welcher ungefähr über Petersburg und Stockholm geht, ist der längste Tag $18^1/_2$ Stunde, die höchste Mittagshöhe der Sonne $53^1/_2{}^0$) durch die längere Dauer der Sommertage nahezu wieder ausgeglichen, so daß die Sommerhitze immer noch eine sehr bedeutende werden kann. In jenen Gegenden herrscht also ein langer kalter Winter, welcher rasch in einen heißen kurzen Sommer übergeht, so daß die Uebergangs-Jahreszeiten, Frühling und Herbst, mehr und mehr verschwinden.

Innerhalb der Polarkreise fallen endlich die Sonnenstrahlen selbst zur Zeit der größten Sonnenhöhe noch so schräg auf, daß sie trotz der langen Tagesdauer keine kräftige Erwärmung hervorbringen können; statt des Sommers tritt nur eine mehr oder weniger bedeutende Unterbrechung in der Strenge der Winterkälte ein.

Wenden wir uns von Deutschland aus zu südlicheren Ländern, so muß dort aus zweierlei Gründen der Winter immer milder werden, denn einmal erreicht die Sonne selbst zur Zeit des Wintersolstitiums noch eine ziemlich bedeutende Mittagshöhe (unter dem 30. Breitegrade z. B. noch $36^1/_2{}^0$), während zugleich die Dauer der Wintertage größer ist als bei uns (für den 30. Breitengrad z. B. ist die Dauer des kürzesten Tages 10 Stunden 4 Minuten). Während so die Winterwärme steigt, wächst die Sommerwärme nicht in gleichem Maße denn die Wirkung der größeren Sonnenhöhe wird dadurch zum Theil neutralisirt, daß die Sommertage nicht so lang sind als bei uns.

Die Differenz zwischen Sommer- und Wintertemperatur muß also um so mehr abnehmen, je mehr wir uns von den Polen aus den Wendekreisen nähern.

Innerhalb der Wendekreise aber verschwindet der Charakter unserer Jahreszeiten fast ganz. Auf dem Aequator passirt die Sonne zweimal, im März und September, das Zenith, während die niedrigste Mittagshöhe der Sonne (Ende Juni und December) noch $66^1/_2{}^0$ beträgt. Bedenkt man ferner, daß auf dem Aequator das ganze Jahr hindurch Tag und Nacht gleich sind, so begreift man

leicht, daß die jährlichen Temperaturvariationen für die Aequatorialgegenden nur sehr unbedeutend sein können.

Vom Aequator aus gegen die Wendekreise hin wird allmälig der Charakter unserer Jahreszeiten wieder merklich, während er erst in den gemäßigten Zonen entschieden zur Geltung kommt.

In den südlichen gemäßigten Zonen wechseln die Jahreszeiten wie bei uns, nur ist begreiflich dort Winter, wenn wir Sommer haben und umgekehrt.

Im Allgemeinen bestätigt die Erfahrung die Resultate der obigen Betrachtung. So beträgt z. B. die Differenz zwischen der mittleren Temperatur des heißesten und des kältesten Monats für

Quito	1,4° R.
Havannah	4,5
Mexico	6,3
Palermo	11,1
Rom	13,7
München	15,6
Prag	18,6
Moskau	23,5
Irkutzk	30,3
Jakutzk	50,8.

257 **Modificationen normaler Temperaturverhältnisse.** Die durch die Attraction der Sonne vorgeschriebene Bahn eines jeden Planeten wird durch den störenden Einfluß der übrigen kaum alterirt, die Störungen spielen hier nur eine untergeordnete Rolle. Anders ist es mit den klimatischen Verhältnissen. Allerdings ist der Erwärmungszustand der unteren Luftschichten eine Function der Insolationsverhältnisse, aber eine Function, in welcher mehrere mannigfach wechselnde Factoren eintreten, so daß die Störungen den regelmäßigen Gang oft gänzlich maskiren. Wäre die Natur der Erdoberfläche überall dieselbe (d. h. fehlte die Abwechselung zwischen Wasser und Land, zwischen Berg und Thal, zwischen bewaldetem und pflanzenleerem Boden), würde die Wirkung der Insolation nicht durch wechselnde Bewölkung des Himmels modificirt, und würde die Wärme nicht durch Luft und Meeresströmnngen von einem Orte zum anderen fortgeführt, so müßten nicht allein alle Orte gleicher geographischen Breite gleiche klimatische Verhältnisse haben, sondern es müßten auch die täglichen und jährlichen Variationen der Lufttemperatur vollkommen regelmäßig verlaufen.

Dem ist aber in der That nicht so. — So hat z. B. Neapel eine mittlere Jahreswärme von 12,25°, während bei gleicher nördlicher Breite Newyork nur eine mittlere Jahreswärme von 8,7° hat. Christiania und Quebec haben fast gleiche mittlere Jahreswärme (4,2 und 4,4°) und doch liegt Quebec um mehr als 13 Breitegrade südlicher als Christiania. Ebenso ist an einem und demselben Orte der Gang der Wärme von einem Jahr zum anderen sehr verschieden, und demselben Jahrestag entspricht keineswegs stets dieselbe Temperatur, wie es sein müßte, wenn die Luftwärme allein vom Sonnenstande abhinge. So war

. B. zu Frankfurt am Main — 14° R. die mittlere Temperatur des 22. Januar 1850, + 8,5° R. die desselben Tages im Jahre 1846. — Im Jahre 1846 war zu Frankfurt am Main der 22. Januar um 2° wärmer als der 14. Mai. Ebendaselbst fiel im Jahre 1841 der heißeste Tag auf den 24. Mai (mit 20° R.), im Jahre 1842 aber auf den 19. August (mit 21° R.).

Solche Anomalien zeigen deutlich, wie sehr die Luftwärme außer den Insolationsverhältnissen noch von anderen mächtig influirenden und veränderlichen Factoren bedingt werde. Wenn am 22. Januar 1846 zu Frankfurt am Main eine Wärme von $8^1/_2$° R. herrschte, so konnte diese hohe Temperatur unmöglich direct durch die Sonnenstrahlen hervorgerufen sein, und zwar um so weniger, als jener Tag ein durchaus bewölkter Regentag war; die damals herrschenden Südwestwinde hatten die Wärme offenbar aus südlicheren Gegenden zugeführt; eben so wie die verhältnißmäßig niedrige Temperatur des 14. Mai nur das Resultat rauher Nordostwinde war.

Aus alle dem geht hervor, daß man die Temperaturverhältnisse eines Ortes nicht aus theoretischen Betrachtungen ableiten, sondern daß man sie nur durch längere Zeit fortgesetzte Beobachtungen ermitteln kann.

Mittlere Temperatur der Tage, der Monate und des Jahres. 258

Wenn man von einer Mitternacht bis zur nächsten alle Stunden ein zweckmäßig aufgestelltes Thermometer beobachtet, und aus den 24 Beobachtungen das Mittel nimmt, so erhält man die mittlere Temperatur des Tages.

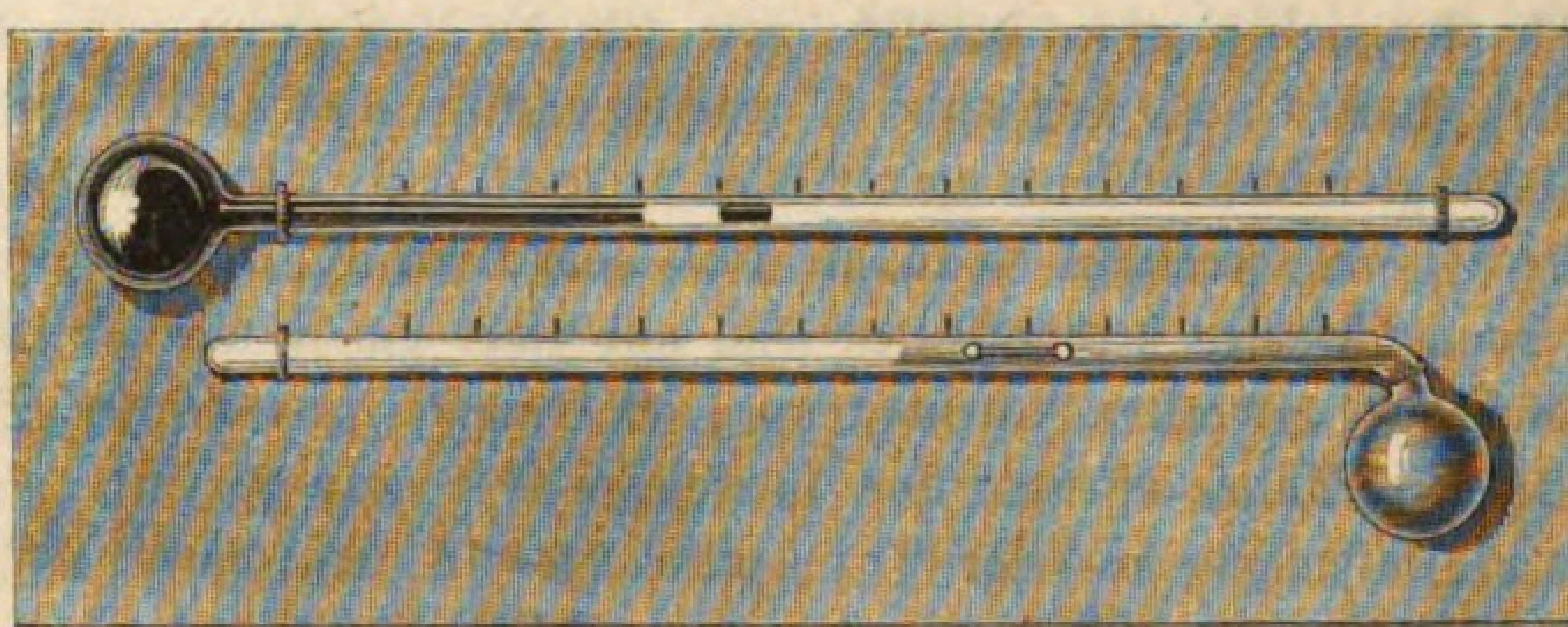
Solche stündliche Beobachtungen einige Zeit lang mit ununterbrochener Regelmäßigkeit anzustellen, ist ungemein mühsam, selbst wenn sich mehrere Personen in das Geschäft theilen. Man hat deshalb andere Methoden in Vorschlag gebracht, um die mittlere Temperatur eines Tages zu finden. Man erhält dieselbe z. B. sehr nahe richtig, wenn man um 7 Uhr Morgens, um 2 Uhr Nachmittags und um 9 Uhr Abends die Lufttemperatur beobachtet und aus diesen drei Beobachtungen das Mittel zieht. Andere ganz passende Beobachtungsstunden, deren Mittel gleichfalls das Tagesmittel repräsentiren, sind 7 Uhr Morgens und 7 Uhr Abends. Endlich findet man auch das Tagesmittel, wenn man aus dem innerhalb 24 Stunden beobachteten Maximum und Minimum der Temperatur das Mittel nimmt.

Um die höchste und niedrigste Temperatur zu erfahren, welche innerhalb 24 Stunden geherrscht hat, ohne daß man deshalb gerade zur Zeit des Maximums und des Minimums das Thermometer zu beobachten braucht, kann man den Fig. 596 abgebildeten Thermometrographen anwenden; er besteht aus zwei Thermometern, deren Röhren wagerecht liegen und von denen das eine ein Quecksilberthermometer, das andere ein Weingeistthermometer ist. In der Röhre des Quecksilberthermometers liegt ein Stahlstiftchen, welches durch die Quecksilbersäule fortgeschoben wird, wenn sich das Quecksilber in der Kugel dieses Thermometers ausdehnt; wenn nun aber das Thermometer erkaltet, so zieht sich die Quecksilbersäule wieder zurück, das Stahlstäbchen aber bleibt an der Stelle liegen, bis zu welcher es bei dem höchsten Stande des Thermometers geschoben

worden war; ein solches Thermometer giebt also das Maximum der Temperatur an, welches innerhalb einer gewissen Periode geherrscht hat.

In der Röhre des Weingeistthermometers liegt ein ganz feines Glasstäbchen, welches an beiden Enden etwas dicker ist, wie man Fig. 596 deutlich sieht;

Fig. 596.



das Glasstäbchen liegt noch in dem Weingeistsäulchen, und wenn der Weingeist in der Kugel erkaltet und sich die Weingeistsäule in der Röhre bis an das erste Knöpfchen des Glasstäbchens zurückgezogen hat, so wird bei fernerem Sinken der Temperatur das Glasstäbchen in Folge der Adhäsion zwischen Weingeist und Glas von der noch weiter sich zurückziehenden Weingeistsäule mitgenommen; wenn aber die Flüssigkeit in der Kugel wieder wärmer wird, so geht beim Steigen des Thermometers die Flüssigkeit an dem Stäbchen vorbei, ohne es fortzuschieben; das Stäbchen, welches von dunkelfarbigem Glase gemacht sein muß, damit man es deutlich sehen kann, bleibt also an der Stelle liegen, welche dem Minimum der Temperatur entspricht, die innerhalb eines gewissen Zeitraumes herrschte.

Wenn die Kugel des einen Thermometers auf der rechten Seite liegt, so liegt die des anderen links, und wenn man den ganzen Apparat etwas neigt und leise daran stößt, so fällt das Stahlstäbchen durch sein Gewicht bis auf die Quecksilbersäule, das Glasstäbchen aber bis an das Ende der Weingeistsäule herab. Wenn man das so vorgerichtete Instrument stehen läßt, so wird bei jedem Steigen der Temperatur das Stahlstäbchen fortgeschoben, das Glasstäbchen aber bei jedem Sinken der Temperatur zurückgezogen.

Dieses Instrument ist besonders geeignet, um das Maximum und Minimum der täglichen Temperatur anzugeben. Wenn man es etwa jeden Abend in Stand setzt, so kann man den folgenden Abend ablesen, welches die höchste und welches die niedrigste Temperatur während der letzten 24 Stunden war.

Hat man auf die eine oder andere Weise die mittlere Temperatur aller Tage eines Monats ermittelt, so erhält man die **mittlere Temperatur des Monats**, wenn man aus den 30 oder 31 Tagesmitteln wieder das Mittel nimmt.

Die aus den 12 Monatsmitteln gezogene Mittelzahl giebt dann die **mittlere Temperatur des ganzen Jahres** an.

So ergeben sich z. B. aus den zu Berlin angestellten Beobachtungen folgende Mittelwerthe für die Temperatur der einzelnen Monate und des ganzen Jahres von 1829 bis 1834:

	1829	1830	1831	1832	1833	1834	*D*
Januar . . .	— 4,66	— 6,11	— 3,71	— 1,13	— 2,69	— 2,83	— 1,90
Februar . . .	— 2,88	— 3,40	0,60	0,97	3,01	1,16	— 0,15
März	1,38	3,88	3,14	3,16	1,77	3,74	2,74
April	7,19	8,41	9,00	7,20	5,06	6,20	6,88
Mai	9,49	11,22	9,98	9,49	14,38	12,74	10,92
Juni.	14,56	14,01	12,60	13,61	15,27	15,17	13,94
Juli	15,43	15,39	15,40	12,64	14,59	18,69	15,04
August . . .	13,85	14,17	14,63	14,65	11,31	16,77	14,43
September .	11,59	11,18	10,53	10,53	11,27	12,49	11,75
October . . .	6,35	7,28	9,74	7,62	7,04	7,69	7,97
November . .	0,71	4,72	2,71	2,62	3,39	3,81	3,25
December . .	— 6,93	— 0,47	1,43	1,08	3,80	1,68	1,32
Jahr	5,50	6,77	7,16	6,86	7,35	8,58	7,18

Hat man für einen Ort die mittlere Temperatur der einzelnen Monate und des ganzen Jahres während eines längeren Zeitraumes ermittelt, so ergiebt sich das allgemeine Monatsmittel, wenn man die Mitteltemperaturen desselben Monats, wie man sie in den einzelnen Jahren erhalten hat, addirt und die erhaltene Summe durch die Zahl der Beobachtungsjahre dividirt. Auf diese Weise haben sich aus einer Reihe von 24 Beobachtungsjahren die allgemeinen Monatsmittel für Berlin ergeben, wie man sie in der letzten Columne obiger Tabelle unter *D* findet.

Auf gleiche Weise ergiebt sich das allgemeine Jahresmittel, welches für Berlin 7,18° R. ist.

Je länger die Beobachtungsreihen fortgesetzt sind, desto richtiger werden die aus ihnen berechneten allgemeinen Monats- und Jahresmittel.

Jahresisothermen. Um den normalen Gang der Wärme für irgend 259
einen Ort zu ermitteln, muß man durch möglichst lange fortgesetzte Beobachtungen das allgemeine Mittel der einzelnen Monate bestimmen, und um ein wahres Bild der Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche zu erhalten, muß man die Beobachtungsresultate der verschiedensten Weltgegenden zusammenstellen. Die Zahlen der folgenden Tabellen sind dem reichen Material entnommen, welches Dove gesammelt und in den Abhandlungen der Berliner Akademie veröffentlicht hat.

Die Temperaturangaben dieser Tabelle beziehen sich auf Reaumur'sche Grade, da diese Scala für Witterungsbeobachtungen die verbreitetste ist.

	Geographische Breite.	Mittlere Temperatur		
		des Jahres.	des heißesten Monats.	des kältesten Monats.
Singapore	1° 17′	21,6	22,4	20,6
Guinea	5 30	21,9	23,0	20,0
Paramaribo	5 45	21,5	22,9	20,4
Batavia	6 9	20,6	21,3	19,1
Kouka	13 10	22,9	26,8	17,7
Domingo	18 29	21,9	24,0	20,0
Calcutta	22 38	22,4	25,9	16,6
Rio Janeiro	22 54S	18,6	21,4	15,6
Havannah	23 9	20,1	22,0	17,5
Cairo	30 2	17,8	23,9	10,7
Bermudas	32 30	15,7	19,9	11,0
Funchal	32 38	15,8	18,6	13,8
Capstadt	33 56S	15,3	19,5	11,4
Adelaide	34 35S	16,2	23,3	9,9
Gibraltar	36 7	15,7	21,1	11,4
Algier	36 47	14,3	19,8	9,3
Pecking	39 54	10,1	22,0	— 3,0
New-York	40 43	8,7	18,3	— 3,4
Neapel	40 52	12,2	19,0	6,5
Rom	41 54	12,66	19,5	5,8
Albany	42 39	7,2	17,8	— 3,6
Habort-Town	42 53S	9,1	13,8	3,6
Sebastopol	44 36	9,3	17,4	1,0
Halifax	44 39	3,6	16,9	— 6,2
Bordeaux	44 50	11,1	18,3	4,0
Astrachan	46 21	8,2	20,3	— 8,6
Quebec	46 48	4,4	18,4	— 8,6
Fort Vancouver . . .	48 37	8,8	15,1	2,7
Paris	48 50	8,6	15,0	1,5
Carlsruh	49 1	8,3	15,8	— 0,14
Prag	50 5	8,1		
Frankfurt a. M. . . .	50 10	7,8	15,1	— 0,24
Brüssel	50 51	8,3	14,4	1,5
Breslau	51 3	6,6	14,8	— 1,8
Düsseldorf	51 14	8,8	15,3	1,4
London	51 30	8,3	14,0	2,2

	Geographische Breite.	Mittlere Temperatur des Jahres.	des heißesten Monats.	des kältesten Monats.
Falklands Inseln . .	52° 0′	6,8	10,6	2,4
Irkutzk	52 17	0,3	14,6	— 15,7
Amsterdam	52 23	7,9	14,8	0,5
Berlin	52 30	7,2	15,0	— 1,9
Barnaul	53 20	— 0,3	15,8	— 16,7
Dublin	53 21	7,6	12,7	2,9
Moskau	55 45	3,6	15,3	— 8,2
Edinburg	55 58	6,7	12,8	2,4
Sitcha	57 3	6,0	11,5	1,0
Nain	57 10	— 1,7	4,6	— 13,8
Petersburg	59 56	3,4	14,1	— 8,4
Bergen	60 24	6,6	12,6	1,34
Jakutzk	62 1	— 8,25	16,3	— 34,4
Raykiavig	64 8	3,3	10,7	— 1,0
Archangel	64 32	0,68	12,8	— 11
Fort Franklin	65 12	— 6,6		
Torneo	66 24	— 0,42	13,1	— 12,7
Boothia Felix	69 59	—12,6		
Ustjansk	70 58	—12,4		
Nordkap	71 10	0,11	6,4	— 4,4
Melvill-Inseln . . .	74 47	—13,7	4,6	— 28,1

Eine südliche Breite ist in dieser Tabelle durch *S* bezeichnet, wo dagegen keine weitere Bezeichnung beigefügt ist, ist von einer nördlichen Breite die Rede.

Eine klare Uebersicht über die Vertheilung der Wärme auf der Erde hat zuerst Humboldt durch seine isothermischen Linien möglich gemacht, durch welche er alle solche Orte derselben Hemisphäre verband, welche gleiche mittlere Jahreswärme haben.

Denken wir uns z. B., daß ein Reisender, von Paris ausgehend, eine Reise um die Erde in der Weise macht, daß er alle Orte der nördlichen Halbkugel besucht, welche dieselbe mittlere Jahreswärme haben wie Paris, nämlich 10,8° C. oder 8,6° R., so wird der Weg, den er auf diese Weise zurücklegt, eine Linie gleicher mitttlerer Jahreswärme, also eine isotherme Linie sein; diese Linie fällt aber nicht mit dem Breitengrade von Paris zusammen, sie ist unregelmäßig und gekrümmt, d. h. sie geht durch Orte, welche eine ganz andere Breite haben als Paris.

Die Karte Fig. 597 stellt die Erdoberfläche in Aequatorial-Projection mit den Isothermen von 4 zu 4° R. dar; außerdem befinden sich noch innerhalb des

Fig. 597.



Gürtels, für welchen die mittlere Jahreswärme 20° R. übersteigt, die Curven von 21 und 22° mittlerer Jahreswärme.

Die Anschauung dieser Karte erspart uns eine weitere Beschreibung des Laufes der Isothermen. Man sieht, daß ihre Krümmungen in der nördlichen

Halbkugel um so bedeutender werden, je weiter man sich vom Aequator entfernt; die Isotherme von 0° z. B. steigt von dem südlichen Ende der Küste von Labrador über Island nach dem Nordcap, um sich im Inneren von Asien wieder bedeutend zu senken.

Da, wo sich die Isothermen am weitesten nach Süden herabsenken, bilden sie einen concaven, da, wo sie am höchsten nach Norden steigen, bilden sie einen convexen Gipfel. Die südlichen Wendepunkte der Isothermen liegen im östlichen Nordamerika und im Inneren von Asien, die nördlichen Wendepunkte dagegen liegen an den Westküsten von Europa und Amerika.

Die Temperaturverhältnisse der südlichen Hemisphäre sind uns bei Weitem nicht so vollständig bekannt wie die der nördlichen, doch ist es wohl als ausgemacht zu betrachten, daß die südliche Halbkugel kälter ist als die nördliche; dieser Unterschied möchte aber wohl geringer sein, als man vielfach anzunehmen geneigt ist. Was vielleicht dazu beigetragen hat, die südliche Halbkugel für so bedeutend kälter zu halten als die nördliche, ist wohl der Umstand, daß man die Temperaturverhältnisse der südlichsten Theile von Amerika mit den Temperaturverhältnissen gleicher nördlicher Breiten in Europa verglichen hat, wo ja die Isothermen so außerordentlich weit nach Norden in die Höhe steigen; die Sache stellt sich ganz anders, wenn man die Gegenden von Südamerika mit solchen vergleicht, welche gleich weit vom Aequator an der Ostküste von Nordamerika liegen.

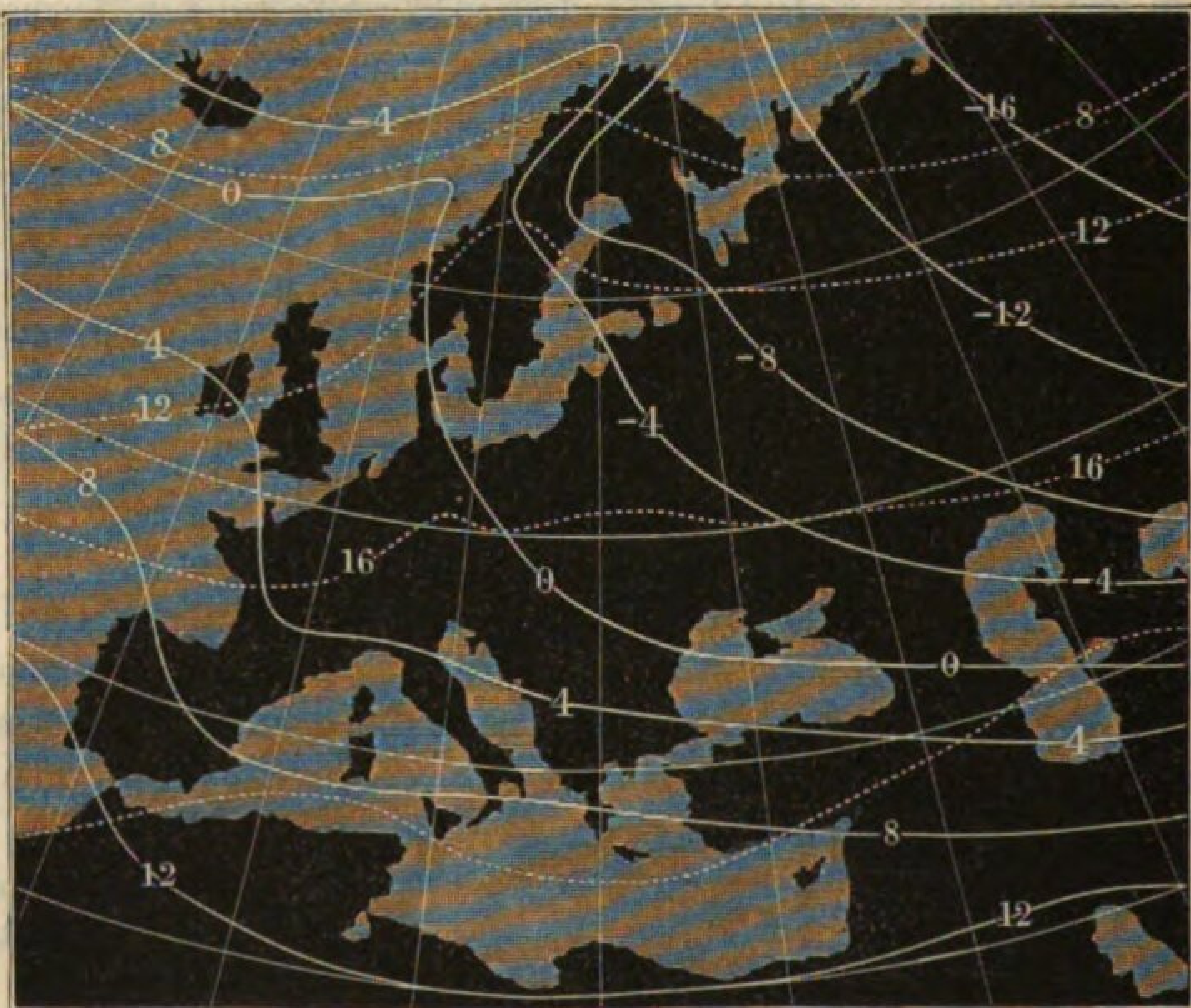
Daß die südliche Halbkugel etwas kälter ist als die nördliche, rührt wohl daher, daß auf der nördlichen das Land, auf der südlichen hingegen das Meer vorherrscht. Das feste Land erwärmt sich durch die Absorption der Sonnenstrahlen weit mehr als das Meer, welches einen großen Theil dieser Strahlen reflectirt.

Isotheren und Isochimenen. Daß nicht alle Orte, welche auf dem- 260
selben Parallelkreise liegen, gleiches Klima haben, ist bereits angeführt worden, es fragt sich aber nun, ob denn alle Orte, welche auf derselben Isotherme liegen, alle Orte also, für welche die mittlere Jahreswärme gleich ist, auch sonst gleiche klimatische Verhältnisse haben. Man braucht nur die Tabelle auf Seite 716 und 717 anzusehen, um sich zu überzeugen, daß dies nicht der Fall ist. Edinburg und Tübingen haben gleiche mittlere Jahreswärme von 8,6°, in Edinburg ist aber die mittlere Temperatur des Winters 3,6°, in Tübingen 0,2°; Tübingen hat also einen weit kälteren Winter als Edinburg, dagegen ist die mittlere Sommertemperatur für Tübingen 17,1, für Edinburg nur 14,4°. Bei gleicher mittlerer Jahrestemperatur hat also Edinburg einen gelinderen Winter und einen kühleren Sommer als Tübingen.

Um die Wärmeverhältnisse eines Landes zu kennen, reicht es also nicht hin, daß man weiß, welches seine mittlere Jahrestemperatur ist, man muß auch wissen, wie die Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten vertheilt ist. Diese Vertheilung kann man auf einer Isothermenkarte dadurch zeigen, daß man, nach Humboldt's Beispiele, an den verschiedenen Stellen einer und derselben Isotherme die mittlere Sommer- und Wintertemperatur beischreibt, was in unserer

Isothermenkarte wegen ihrer Kleinheit nicht möglich war; man sieht alsdann bald, daß gerade in der Nähe der convexen Gipfel der Isothermen auch die Differenzen zwischen der mittleren Sommer= und Wintertemperatur am geringsten sind; dieselben Ursachen also, welche machen, daß die Isothermen an den Westküsten von Europa und Amerika so hoch nach Norden steigen, machen auch die Differenz zwischen der Sommer= und Wintertemperatur geringer. Eine sehr gute Uebersicht in Beziehung auf die Vertheilung der Wärme zwischen Winter und Sommer gewährt eine Karte, in welcher man alle Orte durch Curven verbindet, welche gleiche mittlere Wintertemperatur, und diejenigen, welche gleiche mittlere Sommertemperatur haben. Die Linien gleicher mittlerer Wintertemperatur heißen Isochimenen, die Linien gleicher mittlerer Sommertemperatur heißen Isotheren. Fig. 598 stellt ein Kärtchen von Europa mit den Isotheren und Isochimenen von 4 zu 4 Grad Reaumur dar.

Fig. 598.



Die ausgezogenen Curven sind die Isochimenen, die punktirten sind die Isotheren. Man ersieht aus dieser Karte leicht, daß die Westküste des südlichen Theiles von Norwegen, Dänemark, ein Theil von Böhmen und Ungarn, Siebenbürgen, Bessarabien und die Südspitze der Halbinsel Krim gleiche mittlere Wintertemperatur von 0° haben. Böhmen hat aber einen gleichen Sommer mit dem Ausflusse der Garonne, und in der Krim ist der Sommer noch weit wärmer. Dublin hat gleiche mittlere Wintertemperatur, nämlich 4°, mit Nantes, Oberitalien und Constantinopel und gleiche mittlere Sommerwärme mit Drontheim und Finnland.

Die Isothere von 16° geht von dem Ausflusse der Garonne ungefähr über Straßburg und Würzburg nach Böhmen, der Ukraine, dem Lande der Donischen Kosacken und geht etwas nördlich vom Caspischen Meere vorbei; wie ungleich ist aber die mittlere Wintertemperatur an verschiedenen Orten dieser Isothere! An der Westküste von Frankreich ist sie 4°, in Böhmen 0°, in der Ukraine — 4° und etwas nördlich vom Caspischen Meere gar — 8°.

Land- und Seeklima. Die Betrachtung der letzten Karte und der Tabelle auf Seite 716 und 717 führt uns zu der wichtigen Unterscheidung zwischen Land- und Seeklima oder, wie man es auch ausdrückt, zwischen Continental- und Küstenklima. Die Differenzen zwischen der Sommer- und Wintertemperatur wachsen mit der Entfernung vom Meere; an den Meeresküsten herrschen kühle Sommer und milde Winter, im Inneren des Landes heiße Sommer und kalte Winter. Diese Differenzen treten sehr lebhaft hervor, wenn man die Temperaturverhältnisse der Westküsten von Europa mit denen des nördlichen Asiens vergleicht. Um das Verhältniß der mittleren Jahreswärme zu der Vertheilung der Wärme leicht ersehen zu können, ist in den folgenden, der Tabelle S. 716 entnommenen Beispielen die mittlere Jahreswärme vor, die mittlere Wärme des heißesten Monats über, die mittlere Temperatur des kältesten Monats unter einen Horizontalstrich gesetzt. 261

Küstenklima:

Nordcap . . . . 0,1 $\frac{6,4}{-4,4}$

Raykiavig . . . 3,3 $\frac{10,7}{-1,0}$

Continentalklima:

Jakutzk . . . . — 8,2 $\frac{16,3}{-34,4}$

Irkutzk . . . . 0,3 $\frac{14,6}{-15,7}$

Moskau . . . 3,6 $\frac{15,3}{-8,2}$

Welchen Einfluß solche klimatische Verschiedenheiten auf die Vegetation ausüben müssen, ist klar. An mehreren Orten Sibiriens, in Jakutzk z. B., wo die mittlere Jahrestemperatur — 8,2° R. ist, die mittlere Januartemperatur aber — 34,4° R. beträgt, wird während des kurzen, aber heißen Sommers Weizen und Roggen auf einem Boden gebaut, welcher in einer Tiefe von 3 Fuß beständig gefroren bleibt, während auf der Insel Island bei ungleich höherer Jahrestemperatur und bei einer unbedeutenden Winterkälte an den Bau von Cerealien nicht mehr zu denken ist, weil die niedrige Sommertemperatur nicht hinreicht, sie zur Reife zu bringen.

Im nordöstlichen Irland, wo im Winter kaum Eis friert, in gleicher Breite mit Königsberg, gedeihet die Myrthe so kräftig wie in Portugal; auf den Küsten von Devonshire überwintert die Camelia japonica und die Fuchsia coccinea im Freien; der Winter ist in Plymouth nicht kälter als in Florenz und Montpellier; der Weinbau gedeiht aber nicht in England, weil die Rebe wohl eine ziemlich starke Winterkälte vertragen kann, aber eines heißen Sommers bedarf, wenn die Trauben reifen und einen trinkbaren Wein liefern sollen.

Diese Unterschiede rühren daher, daß das feste Land, die Wärmestrahlen leichter absorbirend und ausstrahlend, sich schneller erwärmt und leichter wieder erkaltet, als das Meer, welches, überall von gleichförmiger Natur, wegen seiner Durchsichtigkeit, wegen der bedeutenden specifischen Wärme des Wassers nicht so schnell erwärt wird, die einmal erlangte Wärme aber auch nicht so schnell abgiebt. Die Temperatur der Meeresoberfläche ist deshalb weit gleichförmiger; sowohl die täglichen, als auch die jährlichen Temperaturschwankungen sind ungleich geringer als in der Mitte der großen Continente, und dadurch ist gerade der schon oben erwähnte Unterschied zwischen Land- und Seeklima bedingt, welcher dadurch größer wird, daß an den Küsten der nördlich gelegenen Länder der Himmel meistens bedeckt ist, was sowohl den wärmenden Einfluß der Sonnenstrahlen im Sommer mäßigt, als auch die starke Erkaltung des Bodens durch Wärmestrahlung im Winter hindert.

262 **Ursachen der Biegung der Isothermen.** Die wichtigsten Ursachen, welche bewirken, daß die Isothermen an den Westküsten von Europa und Amerika so stark nach Norden sich biegen, sind im Wesentlichen folgende.

In der nördlichen gemäßigten Zone sind die Südwest- und die Nordostwinde die vorherrschenden. Der Südwestwind kommt aus den Aequatorialgegenden und führt die Wärme der Tropen zum Theil nach den kälteren Ländern; dieser erwärmende Einfluß der Südwestwinde wird aber in solchen Ländern vorzugsweise merklich werden, welche der südwestlichen Luftströmung am meisten ausgesetzt sind, und somit erklärt sich, daß die Westküsten der großen Continente wärmer sind als die Ostküsten, daß die Isothermen in Europa, welches eigentlich nur eine halbinselförmige Verlängerung des asiatischen Continentes ist, an den Westküsten von Nordamerika weiter nach Norden steigen als im Inneren von Asien und an den Ostküsten von Nordamerika.

Ein zweiter Umstand, welchem Europa sein verhältnißmäßig warmes Klima verdankt, ist der, daß sich im Süden von Europa, in der Aequatorialzone, nicht ein Meer, sondern ein ausgebreitetes Land, nämlich Afrika, befindet, dessen großentheils kahler und sandiger Boden unter dem Einflusse der senkrecht auffallenden Sonnenstrahlen außerordentlich heiß wird. Ein warmer Luftstrom steigt beständig von den glühenden Sandwüsten in die Höhe, um sich dann in Europa wieder herabzusenken.

Endlich trägt eine unter dem Namen des Golfstromes bekannte Meeresströmung sehr zur Milderung des europäischen Klimas bei. Der Ursprung dieses Stromes ist im mexicanischen Meerbusen zu suchen, wo das Meerwasser bis zu einer Temperatur von 24° R. erwärmt wird. Zwischen Cuba und Florida aus dem mexicanischen Meerbusen heraustretend, folgt der Strom anfangs den amerikanischen Küsten, um sich dann mit stets zunehmender Breite und abnehmender Temperatur östlich nach Europa hinzuwenden. Wenn auch der Golfstrom selbst nicht bis an die Küsten von Europa reicht, so verbreitet sich doch sein warmes Wasser, namentlich unter dem Einflusse der vorherrschenden Südwestwinde, in den europäischen Gewässern, was schon daraus hervorgeht, daß

man an den westlichen Küsten von Irland und an den Küsten von Norwegen Früchte von Bäumen findet, die in der heißen Zone Amerikas wachsen; die West- und Südwestwinde bleiben also lange mit einem Meerwasser in Berührung, dessen Temperatur zwischen dem 45. und 50. Breitengrade selbst im Januar nicht unter 7 bis 8° R. sinkt. Durch den Einfluß dieses Golfstromes ist das nördliche Europa durch ein eisfreies Meer von dem Gürtel des Polareises getrennt; selbst in der kältesten Jahreszeit erreicht die Gränze des Polareises nicht die europäischen Küsten.

Während so alle Umstände zusammenwirken, um die Temperatur in Europa zu erhöhen, wirken im nördlichen Asien mehrere Ursachen zusammen, um die Isothermen bedeutend herabzusenken. Im Süden von Asien liegen zwischen den Wendekreisen keine bedeutenden Ländermassen, nur einige asiatische Halbinseln ragen in die heiße Zone hinein; das Meer aber erwärmt sich nicht so stark wie die afrikanischen Wüsten, theils weil das Wasser die Wärmestrahlen ungleich weniger absorbirt, theils aber auch, weil bei der fortwährenden Verdampfung von Wasser auf der Oberfläche des Meeres sehr viel Wärme gebunden wird. Die warmen Luftströme, welche, aus dem Becken des indischen Oceans aufsteigend, die Wärme der Tropen dem inneren und nördlichen Asien zuführen könnten, werden aber durch die ungeheuren Gebirgsketten im Süden von Asien aufgehalten, während das nach Norden hin allmälig sich verflachende Land den Nord- und den Nordostwinden preisgegeben ist. Während sich Europa nicht weit nach Norden erstreckt, ragt Asien weit in das nördliche Eismeer hinein, welches, hier allen wärmenden Einflüssen entzogen, durch welche die Temperatur der europäischen Meere erhöht wird, fast immer mit Eis bedeckt ist. Ueberall reichen die Nordküsten von Asien bis an die Wintergränze des Polareises, und die Sommergränze dieses Eises entfernt sich nur auf kurze Zeit an einigen Stellen von den Küsten; daß aber dieser Umstand die Temperatur bedeutend erniedrigen muß, ist klar, wenn man bedenkt, wie viel Wärme bei der Schmelzung solcher Eismassen gebunden wird.

Die bedeutende Senkung der Isothermen im Inneren und an den Ostküsten von Nordamerika rührt zum Theil daher, daß die Südwestwinde hier nicht mehr Seewinde, sondern Landwinde sind, und deshalb hier nicht mehr den mildernden Einfluß ausüben können wie auf den Westküsten. Während die europäischen Küsten vom wärmeren Wasser bespült sind, ziehen sich an den Ostküsten von Nordamerika kalte Meeresströmungen von Norden nach Süden. Eine solche Strömung, von Spitzbergen herkommend, geht zwischen Island und Grönland hindurch und vereinigt sich dann mit den aus der Hudsons- und Baffinsbai kommenden Strömungen, um an der Küste von Labrador herab, bei Neufoundland vorbei zu treiben und sich unter dem 44. Breitengrade in den Golfstrom zu ergießen. Diese arktische Strömung trägt die Kälte der Polarregionen theils durch die niedrige Temperatur des Wassers, größtentheils aber durch die schwimmenden Eisberge in die südlicheren Gegenden, und so ist diese Strömung

ein Hauptgrund der bedeutenden Senkung der Isothermen an den Ostküsten von Amerika.

263 **Temperatur des Bodens.** Wir haben bisher nur immer die Temperatur der Luft, aber nicht die Temperatur der oberen Bodenschichten besprochen, welche je nach der Natur der Bodenfläche oft bedeutend von der Lufttemperatur verschieden sein kann; ein nackter, des Pflanzenwuchses beraubter, steiniger oder sandiger Boden wird durch die Absorption der Sonnenstrahlen weit heißer, ein mit Pflanzen bedeckter Boden, z. B. ein Wiesengrund, wird durch die nächtliche Strahlung weit kälter als die Luft, deren Temperatur schon durch die fortwährenden Luftströmungen mehr ausgeglichen wird. In den afrikanischen Wüsten steigt die Hitze des Sandes oft auf 40 bis 48° R. Ein mit Pflanzen bedeckter Boden bleibt kühler, weil die Sonnenstrahlen ihn nicht direct treffen können; die Pflanzen selbst binden gewissermaßen eine bedeutende Wärmemenge, indem durch die Vegetation eine Menge Wasser verdunstet; sie erkalten aber auch, wie wir bald näher sehen werden, wenn wir die Thaubildung betrachten, bei ihrem großen Emissionsvermögen durch Ausstrahlung der Wärme so stark, daß die Temperatur des Grases oft 6 bis 9 Grad unter die Temperatur der Luft sinkt. Im Inneren der Wälder ist die Luft beständig kühl, weil die dichte Laubdecke auf dieselbe Weise abkühlend wirkt wie eine Grasdecke, und weil die an den Gipfeln der Bäume abgekühlte Luft sich niedersenkt.

Wegen des unvollkommenen Wärmeleitungsvermögens kann die Wärme der obersten Bodenschichten nur nach und nach in das Innere eindringen; wenn die Oberfläche aber erkaltet, so verlieren die tieferen Bodenschichten weniger schnell ihre Wärme; in einer geringen Tiefe werden deshalb die Temperaturschwankungen weit geringer sein als an der Oberfläche selbst. In Deutschland verschwinden bei einer Tiefe von 6 Decimetern die täglichen Temperaturschwankungen, und in einer Tiefe von 24 Metern verschwinden sogar die jährlichen Variationen, so daß hier beständig eine Temperatur herrscht, welche nur wenig von der mittleren Temperatur des Ortes abweicht.

Obgleich alle Wärme auf der Oberfläche der Erde nur von der Sonne kommt, so hat doch die Erde auch ihre eigenthümliche Wärme, wie aus der Temperaturzunahme folgt, welche man in großen Tiefen beobachtet hat. Wenn die Wärme nach dem Mittelpunkte der Erde hin auch in größerer Tiefe noch in dem Maaße zunimmt, welches uns diese Beobachtungen zeigen, so müßte schon in einer Tiefe von 10,000 Fuß die Temperatur des siedenden Wassers herrschen, im Mittelpunkte der Erde aber müßten alle Körper glühend sein und im geschmolzenen Zustande sich befinden. Daß wir von dieser ungeheuren Hitze im Inneren der Erde auf der Oberfläche nichts merken, läßt sich durch das schlechte Leitungsvermögen der erkalteten Erdkruste erklären, welche diesen glühenden Kern einschließt.

Die meisten wasserreichen Quellen haben eine Temperatur, welche sich in den verschiedenen Jahreszeiten nur sehr wenig ändert; in unserer Hemisphäre

erreichen sie meistens ihre höchste Temperatur im September, die niedrigste im März, die Differenz ihrer höchsten und ihrer niedrigsten Temperatur beträgt in der Regel nur 1 bis 2°.

Quellen, welche aus größeren Tiefen kommen, haben eine weit höhere Temperatur, wie dies bei vielen Salzquellen und sonstigen Mineralquellen der Fall ist. Das Wasser mancher Quellen hat fast die Temperatur des Siedpunktes.

Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen. Die Erwärmung der Luft hat zwei Ursachen; zunächst absorbirt sie einen Theil der von der Sonne kommenden Wärmestrahlen; weil aber die Luft die Wärmestrahlen ungleich weniger absorbirt als die Erdoberfläche, so ist auch die Erwärmung der Luft durch die Absorption der Wärmestrahlen ungleich geringer als die Erwärmung des Bodens; den bedeutendsten Antheil ihrer Wärme erhält die Atmosphäre von unten her. 264

Wäre die Luft keine elastische Flüssigkeit, bliebe die Dichtigkeit der Atmosphäre für alle Höhen dieselbe, so würden die am Boden erwärmten Luftschichten bis an die Gränze der Atmosphäre steigen, die obersten Schichten des Luftmeeres, welches unsere Erde einhüllt, würden auch die wärmsten sein. Weil sich aber die warmen Luftschichten bei ihrem Aufsteigen ausdehnen, so wird bei dieser Ausdehnung Wärme gebunden, ihre Temperatur muß sinken, und so kommt es, daß die höheren Luftschichten kälter sind als die tieferen.

Daß eine solche Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen wirklich stattfindet, davon überzeugt man sich, wenn man zu diesen höheren Regionen aufsteigt, mag man sich nun in einem Luftballon erheben oder den Gipfel hoher Berge besteigen.

In den Alpen entspricht im Durchschnitt eine Erhebung von 180 Metern einer Temperaturerniedrigung von 1°.

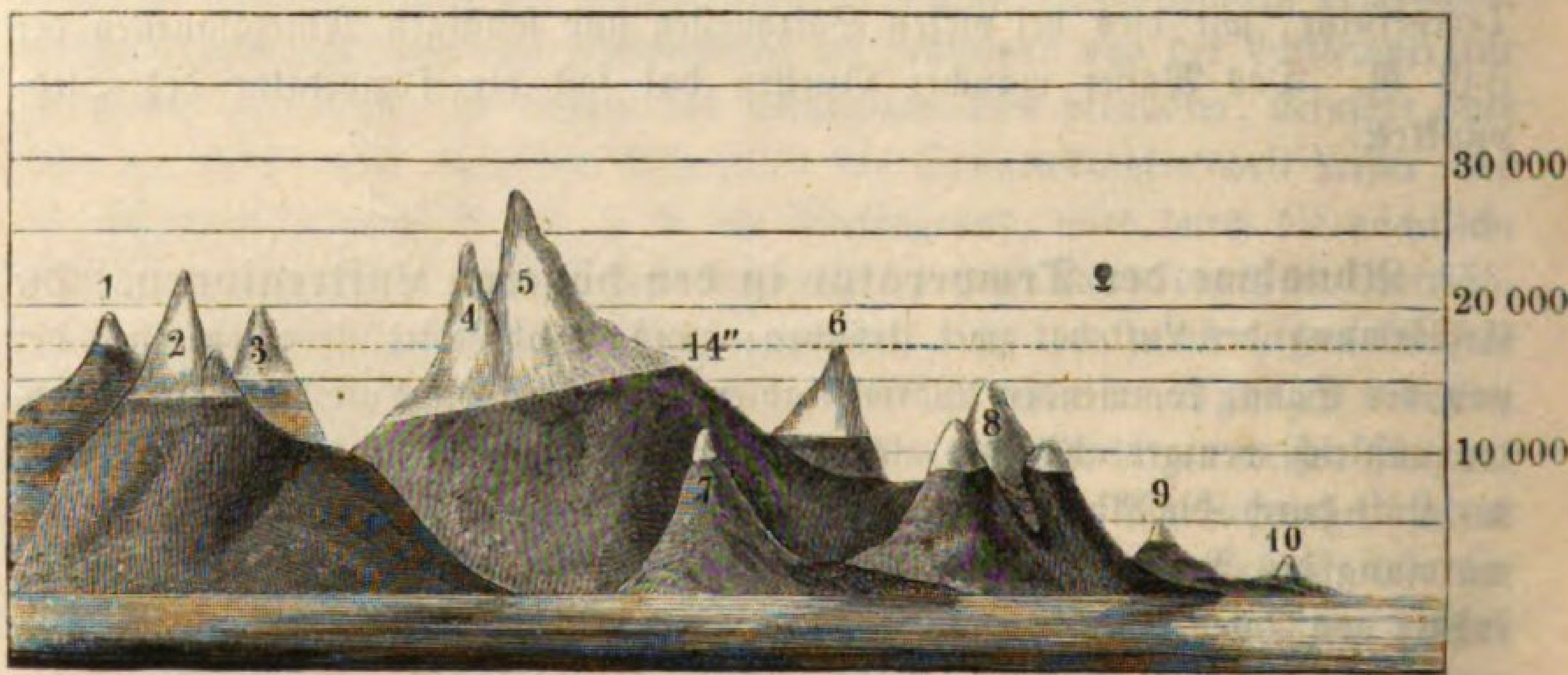
Eine Folge der mit der Höhe abnehmenden Temperatur ist, daß die Gipfel hoher Berge stets mit Schnee bedeckt sind.

Die Gränze des ewigen Schnees liegt natürlich um so höher, je mehr man sich der heißen Zone nähert. Die Höhe der Schneegränze ist für

die Küste von Norwegen .	720	Meter
Island	936	»
Alpen	2708	»
Aetna	2905	»
Himalaya	4500	»
Mexico	4500	»
Quito	4800	»

Fig. 599 stellt die Höhenverhältnisse der Schneegränze in verschiedenen Gegenden dar, und zwar sind Nr. 1, 2 und 3 der Illimani, der Aconcagua und der Chimborazzo in Südamerika; 4, 5 und 6 der Schamalari, der Dhawalagiri

Fig. 599.



und der Kaukasus in Asien. Nr. 7 stellt die Pyrenäen und 8 die Alpen dar; Nr. 9 den Sulitelma in Norwegen und Nr. 10 die Insel Magerö.

Zweites Capitel.

Die Atmosphäre, ihr Druck und ihre Strömungen.

Die Lufthülle der Erde. Die feste, zum Theil mit Wasser bedeckte Erdkugel ist mit einer gasförmigen Hülle umgeben, welche man mit dem Namen der Atmosphäre bezeichnet. Das Gasgemenge, aus welchem die Atmosphäre besteht, nennt man die Luft. 265

Die Hauptbestandtheile der atmosphärischen Luft sind Sauerstoffgas und Stickgas, deren Gemisch noch verhältnißmäßig geringe Quantitäten von Kohlensäure und Wasserdampf beigemengt sind. In 100 Raumtheilen Luft sind 79 Raumtheile Stickgas und 21 Raumtheile Sauerstoffgas enthalten. Dieses Verhältniß ist fast ganz constant. Der Gehalt an Kohlensäure ist an und für sich sehr gering, unterliegt aber verhältnißmäßig größeren Schwankungen als Sauerstoff und Stickstoff, indem 10,000 Raumtheile Luft zwischen 3,3 und 5,3 Raumtheile Kohlensäure enthalten. Noch veränderlicher ist der Gehalt an Wasserdampf, wovon im folgenden Capitel ausführlicher gehandelt werden soll.

Die Luft ist, wie wir schon im ersten Bande gesehen haben, der Schwere eben so unterworfen, wie die festen und tropfbar-flüssigen Körper. Die Lufttheilchen werden also von der Masse des Erdkörpers angezogen und dadurch auch verhindert, sich von der Erde aus in den Weltraum zu zerstreuen. Durch ihre Schwere wird die Atmosphäre zu einem integrirenden Theile der Erde, sie nimmt Theil sowohl an ihrer jährlichen wie an ihrer täglichen Bewegung.

Weil die Luft expansibel ist und das Volumen, welches eine gegebene Luftmenge einnimmt, von dem Drucke abhängt, welchem sie ausgesetzt ist, so ist klar, daß die Atmosphäre nicht überall gleiche Dichtigkeit haben kann, daß dieselbe vielmehr von unten nach oben fortwährend abnehmen muß.

Daß die tieferen Luftschichten wirklich einen stärkeren Druck auszuhalten haben, das beweisen uns die in verschiedenen Höhen angestellten Barometerbeobachtungen. Am Meeresufer ist die Höhe der Barometersäule im Mittel 760 Millimeter; sobald man sich aber über den Meeresspiegel erhebt, sinkt das Barometer um so mehr, je höher man steigt; zu Potosi, in einer Höhe von 13220 Fuß, ist der mittlere Barometerstand nur noch 471 Millimeter (17,4 Zoll); in jener Höhe ist also der Luftdruck nur noch 0,62 von demjenigen, welcher am Ufer des Meeres stattfindet.

In Fig. 599 auf Seite 726 ist durch eine punktirte Linie die Höhe angedeutet, in welche der Luftdruck nur noch halb so groß ist als am Spiegel des Meeres. Diese Linie streift den Gipfel des Kaukasus.

Da mit der Erhebung über dem Meeresspiegel der Luftdruck abnimmt und das Barometer sinkt, so kann das Barometer dienen, um Höhenmessungen auszuführen. Näheres über diesen Gegenstand in der kosmischen Physik.

Mit Hülfe der für barometrische Höhenmessungen construirten Formeln kann man berechnen, wie groß der Luftdruck einer jeden beliebigen Höhe über dem Meere ist; für eine Höhe von 160,000 Fuß oder 8 geographische Meilen ergiebt sich auf diese Weise ein Luftdruck, welcher so gering ist, daß er nur noch einer Quecksilbersäule von 1^{mm} das Gleichgewicht halten kann; in jener Höhe ist also die Dichtigkeit der Luft nur noch $^1/_{760}$ von der auf der Oberfläche des Meeres beobachteten. In einer Höhe von 10 bis 12 geograpraphischen Meilen ist demnach die Luft schon so verdünnt, daß ihr Druck selbst für die empfindlichsten physikalischen Instrumente kaum bemerkbar ist. Was von Luft über die Höhe von 10 bis 12 geographischen Meilen hinausgeht, ist jedenfalls ein verschwindend kleiner Bruchtheil der übrigen Atmosphäre, und deshalb nimmt man in der Regel an, daß die Atmosphäre eine Höhe von 10 bis 12 geographischen Meilen habe.

Eben weil die Luft expansibel ist, kann sie nicht eine scharfe obere Gränze haben wie die Gewässer, welche die Erdoberfläche bedecken. Es findet eben in den höheren Luftregionen ein allmäliger Uebergang zur unendlichen Verdünnung Statt, und deshalb ist auch die Höhe der Atmosphäre keine absolut gegebene und präcis bestimmbare; man kann höchstens sagen, in welcher Höhe die Dichtigkeit der Luft unmerklich wird.

Nehmen wir in diesem Sinne die Höhe der Atmosphäre zu 10 bis 12 geographischen Meilen an, so sehen wir, daß diese Höhe sehr gering ist im Vergleich zum Durchmesser der Erde, welcher nahe 1700 geographische Meilen beträgt. Um sich ein klares Bild von dem Verhältniß der Erdkugel zu ihrer Atmosphäre zu machen, denke man sich eine Kugel von 1 Fuß Durchmesser, welche von einer nicht ganz 1 Linie dicken luftigen Hülle umgeben ist.

Aber weit unter der angegeben Gränze verschwindet die letzte Spur des organischen Lebens, welches weder eine solche Luftverdünnung, noch eine so niedrige Temperatur ertragen kann, wie sie in jenen Höhen herrscht, und welches schwerlich bis auf die Gipfel der höchsten Berge hinaufsteigt.

Variationen des Barometerstandes. Wir haben schon oben gesehen, daß der Luftdruck durch das Barometer gemessen wird. Nun aber beobachtet man beständige Schwankungen an diesem Instrumente, was eine abwechselnde Ab- und Zunahme des Luftdruckes andeutet. 266

Die Variationen des Barometers sind entweder periodische oder zufällige.

Die periodischen Schwankungen treten in den Tropen sehr entschieden auf; das Barometer fällt von 10 Uhr Morgens bis 4 Uhr Nachmittags, steigt dann bis 11 Uhr Nachts, fällt wieder bis 4 Uhr Morgens und steigt abermals bis 10 Uhr Morgens. Der Barometerstand zeigt also zwei tägliche Maxima um 10 Uhr Morgens und um 11 Uhr Nachts, und zwei Minima um 4 Uhr Morgens und um 4 Uhr Abends.

Die Größe der täglichen Schwankungen beträgt ungefähr 2 Millimeter.

Auch eine jährliche Periode der Barometerschwankungen zeigt sich in den Tropen ganz entschieden. Das Barometer sinkt nördlich vom Aequator vom Januar bis zum Juli und steigt dann wieder vom Juli bis zum Januar. Im Juli ist der mittlere Barometerstand 2 bis 4 Millimeter niedriger als im Januar.

In höheren Breiten sind die zufälligen Schwankungen des Barometers so bedeutend, daß durch sie die hier sehr geringen periodischen Schwankungen ganz maskirt werden. Um entscheiden zu können, ob mitten in den beständig stattfindenden zufälligen Schwankungen des Barometers sich nicht auch ein periodisches Steigen und Fallen geltend mache, muß man die Mittelzahlen einer großen Reihe von Barometerbeobachtungen mit einander vergleichen, welche regelmäßig zu bestimmten Stunden des Tages angestellt worden sind. Wenn man einen Monat lang das Barometer an mehreren bestimmten Stunden des Tages beobachtet und das Mittel aus allen zu derselben Stunde gemachten Beobachtungen nimmt, so reicht dies hin, um die Existenz einer täglichen Periode der Barometerschwankungen auch für unsere Gegenden zu beweisen.

Solche Beobachtungen haben nun gezeigt, daß allerdings auch bei uns periodische Schwankungen stattfinden. Um 9 Uhr Morgens steht in unseren Gegenden das Barometer im Durchschnitt um 0,7 Millimeter höher als um 2 Uhr Nachmittags; auch ist der mittlere Barometerstand des Sommers etwas niedriger als der des Winters.

Ursachen der Barometerschwankungen. Die Ursache aller Barometerschwankungen ist in der ungleichen und stets sich ändernden Wärmevertheilung auf der Erde zu suchen. Da sich die Wärmevertheilung auf der Erde beständig ändert, so wird auch das Gleichgewicht in jedem Augenblicke gestört; es entstehen Luftströmungen, welche das gestörte Gleichgewicht wieder herzustellen streben, und so ist denn die Luft in beständiger Bewegung, bald mehr erwärmt und deshalb leichter, bald wieder erkaltet und deshalb dichter; bald mehr, bald weniger Wasserdampf enthaltend, wird auch der Druck der Luftsäule fortwährenden Veränderungen unterworfen sein, welche uns das Barometer anzeigt. 267

Daß wirklich Temperaturveränderungen die Ursache der Barometerschwankungen sind, geht schon daraus hervor, daß sie in den Tropen, wo die Tempe-

ratur so wenig veränderlich ist, auch am unbedeutendsten sind, in höheren Breiten dagegen, wo die Variationen der Temperatur immer bedeutender werden, da ist auch die Amplitude der zufälligen Barometerschwankungen sehr groß, ja selbst im Sommer, wo die Temperatur im Allgemeinen weniger veränderlich ist, sind die Oscillationen des Barometers kleiner als im Winter.

Obgleich man im Allgemeinen nachweisen kann, daß die ungleiche und stets sich ändernde Erwärmung der Luft beständige Veränderungen in der Größe des Luftdrucks zur Folge haben muß, so sind wir doch noch weit davon entfernt, in allen einzelnen Fällen den Zusammenhang genügend nachweisen zu können.

Wenn an irgend einem Orte die Luft bedeutend erwärmt wird, so dehnt sie sich aus, die Luftsäule erhebt sich über die Luftmasse, welche auf den kälteren Umgebungen ruht, die in die Höhe gestiegene Luft wird also oben nach den Seiten hin abfließen, der Druck der Luft muß also an dem wärmeren Orte abnehmen, das Barometer wird daselbst sinken müssen; in den kälteren Umgebungen aber muß das Barometer steigen, weil sich in den oberen Regionen der erwärmten Gegenden seitwärts abfließende Luft über die Atmosphäre der kälteren Gegenden verbreitet.

Dadurch erklärt sich auch, warum in unseren Gegenden im Durchschnitte bei Südwestwinden das Barometer am tiefsten, bei Nordostwinden am höchsten steht; die Südwestwinde bringen uns warme Luft, während uns die Nordostwinde kältere Luft zuführen; da, wo ein warmer Luftstrom weht, müßte die Atmosphäre eine größere Höhe haben als da, wo der kalte Wind weht, wenn der Druck der ganzen Luftsäule an beiden Orten derselbe sein sollte; wäre dies aber auch wirklich der Fall, so würde die Luft des warmen Stromes oben abfließen, das Barometer also unter dem warmen Luftstrome sinken, unter dem kalten dagegen steigen.

In Europa sind im Durchschnitte die Südwestwinde auch die Regenwinde, weil sie, von wärmeren Meeren kommend, mit Wasserdampf gesättigt sind, welcher sich nach und nach verdichtet und als Regen niederfällt, wenn der Wind zu immer kälteren Gegenden gelangt. In dieser Condensation des Wasserdampfes ist ein zweiter Grund zu suchen, warum das Barometer bei Südwestwinden niedrig steht. So lange nämlich der Wasserdampf als förmliches Gas einen Bestandtheil der Atmosphäre ausmacht, ist ihm ein Theil des atmosphärischen Druckes zuzuschreiben, ein Theil der Quecksilbersäule im Barometer wird durch den Wasserdampf getragen; das Barometer muß also sinken, wenn der Wasserdampf aus der Atmosphäre durch Verdichtung ausgeschieden wird.

Da die Südwinde, welche in unseren Gegenden ein Sinken des Barometers bewirken, uns auch eine feuchte Luft zuführen und regnerisches Wetter bringen, während das Barometer steigt, wenn Nordostwinde wehen, welche die Luft trocken und den Himmel heiter machen, so kann man allerdings sagen, daß im Allgemeinen ein hoher Barometerstand schönes Wetter, ein tiefer aber schlechtes Wetter anzeigt. Dies ist aber, wie gesagt, nur eine Durchschnittsregel, denn bei Nordostwind ist der Himmel auch öfters bewölkt, bei Südwest-

wind auch manchmal heiter; sie ist jedoch in derselben Ausdehnung wahr wie die, daß bei Nordostwind das Barometer hoch, bei Südwestwind dagegen tief steht; dies ist auch nicht immer, sondern nur im Durchschnitte wahr. Wir können uns von solchen Anomalien nicht immer genügende Rechenschaft geben, weil uns nicht alle Elemente bekannt sind, welche den Gleichgewichtszustand der Atmosphäre bedingen.

Daß ein hoher Barometerstand im Allgemeinen heiteres Wetter, ein tiefer aber trübes Wetter anzeigt, ist auch nur für solche Orte wahr, an welchen die warmen Winde zugleich die Regen bringenden sind. An dem Ausflusse des La Plata-Stromes z. B. sind die kalten Südostwinde, welche vom Meere her wehen und das Barometer steigen machen, die Regenwinde, die warmen Nordwestwinde aber, bei welchen das Barometer sinkt, sind trockene Landwinde und bringen heiteres Wetter. Dem Umstande, daß dort der Regen durch kalte Winde gebracht wird, ist die geringere Regenmenge dieser Gegenden zuzuschreiben, während unter gleicher Breite an den Westküsten von Südamerika sehr viel Regen fällt, indem hier der warme Nordwestwind zugleich ein Seewind ist.

Entstehung der Winde. Wenn man die Thür zwischen einem warmen und einem kalten Zimmer ein wenig öffnet, Fig. 599, so strömt durch 268

Fig. 599.



die Spalte oben warme Luft aus dem warmen in das kalte Zimmer, während unten kalte Luft in das geheizte Zimmer einströmt, wie man leicht mit Hülfe einer Kerzenflamme nachweisen kann. Auch im Großen sieht man die Luft in den stärker erwärmten Gegenden aufsteigen und in der Höhe nach den kälteren abfließen, während unten die Luft von den kälteren Gegenden den wärmeren zuströmt.

Ein einfaches Beispiel geben uns die Land- und Seewinde, welche man häufig an den Meeresküsten, namentlich aber auf den Inseln wahrnimmt. Einige Stunden nach Sonnenaufgang erhebt sich ein von dem Meere nach der Küste gerichteter Wind, der Seewind, weil das feste Land unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen stärker erwärmt wird als das Meer; über dem Lande steigt die Luft in die Höhe und fließt oben nach dem Meere hin ab, während unten die Luft vom Meere gegen die Küsten strömt. Dieser Seewind ist anfangs schwach und nur an den Küsten selbst fühlbar, später nimmt er zu und zeigt sich dann auch auf dem Meere schon in größerer Entfernung von der Küste; zwischen 2 und 3 Uhr Nachmittags wird er am stärksten, nimmt dann wieder ab, und gegen Untergang der Sonne tritt eine Windstille ein. Nun erkaltet Land und Meer durch die Wärmestrahlung gegen den Himmelsraum, das Land erkaltet aber rascher als das Meer, und nun strömt die Luft in den unteren Regionen

vom Lande nach dem Meere, während in den oberen Luftregionen eine entgegengesetzte Strömung stattfindet.

Zu den Ursachen, welche Luftströmungen, ja die heftigsten Stürme erzeugen können, ist auch eine schnelle Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes zu zählen. Wenn man bedenkt, welch eine ungeheure Wassermasse während eines Platzregens in wenigen Minuten zur Erde fällt, welch ungeheures Volumen dieses Wasser eingenommen haben muß, als es noch in Dampfgestalt in der Atmosphäre schwebte, so ist klar, daß durch die rasche Condensation dieser Wasserdämpfe eine bedeutende Luftverdünnung bewirkt wird und daß die Luft von allen Seiten her mit Gewalt in den verdünnten Raum eindringen muß, um so mehr, als da, wo die Condensation der Wasserdämpfe stattfindet, die Temperatur der Luft durch die frei werdende Wärme erhöht und dadurch ein kräftig aufsteigender Luftstrom erzeugt wird.

Oft sieht man die Wolken in anderer Richtung ziehen, als die ist, welche die Windfahnen zeigen, und oft ziehen die höheren Wolken in anderer Richtung als die tiefer schwebenden, woraus hervorgeht, daß in verschiedenen Höhen Luftströmungen nach verschiedener Richtung stattfinden.

269 **Passatwinde und Moussons.** Als Columbus auf seiner Entdeckungsreise nach Amerika seine Schiffe durch einen beständigen Ostwind fortgetrieben sah, wurden seine Gefährten mit Schrecken erfüllt, weil sie fürchteten, nimmer nach Europa zurückkehren zu können. Dieser in den Tropen beständig von Osten nach Westen wehende Wind, welcher so sehr das Erstaunen der ersten Seefahrer des 15. Jahrhunderts erregte, ist der Passatwind. Die Schiffer benutzen diesen Wind, um von Europa nach Amerika zu segeln, indem sie von Madeira aus südlich bis in die Nähe des Wendekreises steuern, wo sie dann durch den Passat nach Westen getrieben werden. Diese Reise ist so sicher und die Arbeit der Matrosen dabei so gering, daß die spanischen Seeleute diesen Theil des atlantischen Oceans den Frauengolf (el golfo de las Damas) nannten. Auch in der Südsee weht dieser Wind, die spanischen Schiffer ließen sich durch ihn in gerader Linie von Acapulco nach Manilla treiben.

Im atlantischen Ocean erstreckt sich der Passatwind bis zum 29., im großen Ocean nur bis zum 25. Grade nördlicher Breite. In der nördlichen Hälfte der heißen Zone ist die Richtung des Passatwindes eine nordöstliche; je mehr er sich aber dem Aequator nähert, desto mehr wird seine Richtung rein östlich. Die Gränze des Passats ist in der südlichen Halbkugel weniger genau bestimmt, dort aber hat der Passat eine südöstliche Richtung, die mehr und mehr östlich wird, je mehr er gegen den Aequator vordringt.

Diese Winde wehen rund um die ganze Erde, doch sind sie in der Regel erst 50 Meilen weit vom festen Lande entschieden merklich.

Da, wo der Nordostpassat der nördlichen und der Südostpassat der südlichen Hemisphäre zusammentreffen, combiniren sie sich zu einem rein östlichen Winde, der aber unmerklich wird, weil die horizontale Bewegung der durch die Intensität der Sonnenstrahlen stark erwärmten und deshalb mächtig aufsteigen-

den Luft eben durch die verticale Bewegung neutralisirt wird. Es würde in diesen Gegenden eine fast vollkommene Windstille herrschen, wenn nicht die heftigen Stürme, welche die fast täglich unter Donner und Blitz stattfindenden Regengüsse begleiten, die Ruhe der Atmosphäre störten und das Wehen sanfter regelmäßiger Winde unmöglich machten.

Diese Zone, welche die Passatwinde der beiden Hemisphären trennt, ist die Region der Calmen.

Das Kärtchen, Fig. 600, dient dazu, die Gegenden zu zeigen, in welchen

Fig. 600.



die Passatwinde herrschen. Die Mitte der Region der Calmen, welche im Durchschnitte eine Breite von 6° hat, fällt nicht, wie man wohl erwarten sollte, mit dem Aequator zusammen, sondern sie liegt nördlich von demselben. Während unserer Sommermonate ist der Gürtel der Calmen breiter, und seine nördliche Gränze entfernt sich mehr vom Aequator, während die südliche Gränze sich nur wenig ändert.

Die Ursache davon, daß die Region der Calmen auf der nördlichen Hemisphäre liegt, ist wohl in der Configuration der Continente zu suchen.

Die Passatwinde lassen sich leicht erklären. Die Luft, welche in den Aequatorialgegenden stark erwärmt in die Höhe steigt, erhebt sich über die kälteren Luftmassen zu beiden Seiten und strömt oben nach den Polen hin ab, während unten die Luft von den Polen her dem Aequator zufließt. Wenn die Erde keine Achsendrehung hätte, so würde der Passatwind auf der nördlichen Halbkugel gerade von Norden nach Süden, auf der südlichen Hemisphäre aber in entgegengesetzter Richtung wehen. Nun aber dreht sich die Erde von Westen nach Osten, und das Luftmeer, welches sie umgiebt, theilt diese Rotationsbewegung.

Je näher ein Ort der Erdoberfläche den Polen liegt, desto langsamer wird er sich in dem während 24 Stunden zu beschreibenden Kreise fortbewegen, weil dieser Kreis um so kleiner ist, je weiter man sich vom Aequator entfernt. Demnach ist auch die Rotationsgeschwindigkeit der über der Erde ruhenden Luftmasse in der Nähe der Pole geringer als am Aequator; wenn nun eine Luftmasse aus höheren Breiten dem Aequator zugeführt wird, so langt sie mit geringerer Rotationsgeschwindigkeit über Ländern an, welche sich schneller von

Westen nach Osten bewegen; in Beziehung auf diesen unter ihr sich fortbewegenden Boden hat sie also eine Bewegung von Osten nach Westen. Diese Bewegung combinirt sich mit der gegen den Aequator hin fortschreitenden Bewegung auf der nördlichen Halbkugel zu einem Nord-, auf der südlichen aber zu einem Südostwinde.

Die in den Aequatorialgegenden aufsteigende Luft fließt in der Höhe nach beiden Seiten hin ab, um sich nach den Polen hin zu ergießen. Die Richtung dieses oberen Passates ist natürlich der des unteren gerade entgegengesetzt, sie ist in der nördlichen Halbkugel eine südwestliche, in der südlichen Halkugel eine nordwestliche.

Daß in den oberen Luftregionen wirklich ein Passat weht, welcher dem unteren entgegengesetzt ist, läßt sich durch Thatsachen beweisen; so wurde z. B. am 25. Februar 1835 bei einem Ausbruche des Vulcans von Cosiguina im Staate Guatimala die Asche bis in die Höhe des oberen Passats geschleudert, der sie in südwestlicher Richtung fortführte, so daß sie auf der Insel Jamaica niederfiel, obgleich in den unteren Regionen der Nordostpassat herrschte.

In größerer Entfernung vom Aequator senkt sich der obere Passat mehr und mehr gegen die Erdoberfläche. Auf dem Gipfel des Piks von Teneriffa herrschen fast immer Westwinde, während am Meeresspiegel der untere Passat weht.

Im indischen Ocean ist die Regelmäßigkeit der Passatwinde durch die Configuration der Ländermassen, welche dieses Meer umgeben, namentlich aber durch den asiatischen Continent, gestört. Im südlichen Theile des indischen Oceans, zwischen Neuholland und Madagaskar, herrscht noch das ganze Jahr hindurch der Südostpassat, in dem nördlichen Theile dieses Meeres aber weht während der einen Hälfte des Jahres ein beständiger Südwest-, während der anderen Hälfte des Jahres ein beständiger Nordostwind. Diese regelmäßig abwechselnden Winde werden Moussons genannt.

Der Südwestwind weht vom April bis zum October, während der übrigen Monate des Jahres weht der Nordostwind.

Während in den Wintermonaten der asiatische Continent erkaltet, die Sonne aber in südlicheren Gegenden eine größere Wärme erzeugt, muß natürlich ein Nordostpassat von dem kälteren Asien nach den heißeren Gegenden wehen. In dieser Zeit ist auch im indischen Ocean der Nordostpassat von dem Südostpassat durch die Region der Calmen getrennt.

Während des Sommers wird das Wehen des Südostpassates zwischen Neuholland und Madagaskar nicht gestört, in den nördlichen Theilen des indischen Oceans aber, in welchen im Winter ein Nordostwind geherrscht hatte, wird dieser in einen Südwestwind verwandelt, weil sich nun der asiatische Continent sehr stark erwärmt und also eine Luftströmung nach Norden hin veranlaßt, welche durch die Rotation der Erde in einen Südwestwind verwandelt wird.

270 **Winde in höheren Breiten.** Der obere Passat, welcher die Luft von den Aequatorialgegenden zurückführt, senkt sich, wie schon erwähnt wurde,

immer mehr und erreicht endlich als Südwestwind den Boden; außerhalb der Region der Passatwinde gehen daher die beiden Luftströmungen, welche die Luft von den Polen zum Aequator und vom Aequator zurück nach den Polen führen, nicht mehr über einander, sondern neben einander her, sie streben einander gegenseitig zu verdrängen, bald erlangt der Südwest, bald der Nordost die Oberhand, und bei dem Uebergange aus einer dieser Windrichtungen in eine andere sehen wir die Zwischenwinde nach allen Richtungen der Windrose wehen.

Obgleich auch in höheren Breiten Südwest und Nordost die herrschenden Winde sind, so findet zwischen ihnen doch keine so regelmäßige periodische Abwechselung Statt wie bei den Moussons im indischen Oceane.

Die folgende Tabelle giebt die Häufigkeit der Winde in verschiedenen Ländern an; sie giebt nämlich an, wie oft im Durchschnitte unter je 1000 Tagen ein jeder der acht Hauptwinde weht.

Länder.	N.	N.O.	O.	S.O.	S.	S.W.	W.	N.W.
England	82	111	99	81	111	225	171	120
Frankreich . . .	126	140	84	76	117	192	155	110
Deutschland . . .	84	98	119	87	97	185	198	131
Dänemark . . .	65	98	100	129	92	198	161	156
Schweden	102	104	80	110	128	210	159	106
Rußland	99	191	81	130	98	143	166	192
Nordamerika. . .	96	116	49	108	123	197	101	210

Gesetz der Winddrehung. Obgleich bei einer oberflächlichen Betrachtung in unseren Gegenden die Aenderungen in der Windrichtung ganz regellos zu sein scheinen, so haben doch aufmerksamere Beobachter schon lange die Bemerkung gemacht, daß die Winde in der Regel in folgender Ordnung auf einander folgen. 271

S, SW, W, NW, N, NO, O, SO, S.

Am regelmäßigsten läßt sich diese Drehung des Windes während des Winters beobachten; die mit diesem Umschlagen zusammenhängenden Veränderungen des Barometers und des Thermometers hat Dove sehr schön mit folgenden Worten geschildert:

»Wenn der Südwest, immer heftiger wehend, endlich vollkommen durchgedrungen ist, erhöht er die Temperatur über den Gefrierpunkt, es kann daher nicht mehr schneien, sondern es regnet, während das Barometer seinen niedrigsten Stand erreicht. Nun dreht sich der Wind nach West, und der dichte Flockenschnee beweist ebenso gut den einfallenden kälteren Wind als das rasch steigende Barometer, die Windfahne und das Thermometer. Mit Nord heitert der Himmel sich auf, mit Nordost tritt das Maximum der Kälte und des Barometers ein. Aber allmälig beginnt dieses zu fallen, und feine Cirri zeigen

durch die Richtung ihres Entstehens den oben eingetretenen südlicheren Wind, den das Barometer schon bemerkt, wenn auch die Windfahne nichts davon weiß und noch ruhig Ost zeigt. Doch immer bestimmter verdrängt der südliche Wind den Ost von oben herab, bei entschiedenem Fallen des Quecksilbers wird die Windfahne *SO*, der Himmel bezieht sich allmälig immer mehr, und mit steigender Wärme verwandelt sich der bei *SO* und *S* fallende Schnee bei *SW* wieder in Regen. Nun geht es von Neuem an, und höchst charakteristisch ist der Niederschlag auf der Ostseite von dem auf der Westseite gewöhnlich durch eine kurze Aufhellung getrennt.«

Nicht immer läßt sich die Drehung des Windes so rein beobachten, wie es eben angeführt wurde, indem häufig ein Zurückspringen des Windes stattfindet; ein solches Zurückspringen wird aber weit häufiger auf der Westseite der Windrose beobachtet als auf der Ostseite. Eine vollständige Umdrehung des Windes in entgegengesetzter Richtung, nämlich von *S*, nach *O*, *N*, *W*, wird in Europa höchst selten beobachtet.

Die Erklärung dieses Gesetzes ergiebt sich durch die Verallgemeinerung der Erklärung der Passatwinde.

Wird die Luft durch irgend eine Ursache von den Polen nach dem Aequator getrieben, so kommt sie von Orten, deren Rotationsgeschwindigkeit geringer ist, an andere Orte, welche eine größere Rotationsgeschwindigkeit besitzen; ihre Bewegung erhält dadurch eine östliche Richtung, wie wir schon beim Passatwinde gesehen haben. Auf der nördlichen Halbkugel gehen deshalb die Winde, welche als Nordwinde entstehen, bei ihrem allmäligen Fortrücken durch *NO* in *O* über. Ist auf diese Weise ein Ostwind entstanden; so wird dieser, wenn die Ursache fortdauert, welche die Luft nach dem Aequator hintreibt, hemmend auf den Polarstrom wirken, die Luft wird die Rotationsgeschwindigkeit des Ortes annehmen, über welchem sie sich befindet, und wenn nun die Tendenz, nach dem Aequator zu strömen, immer noch fortdauert, so springt der Wind nach Norden zurück, und dieselbe Reihe von Erscheinungen wiederholt sich.

Wenn aber, nachdem die Polarströme eine Zeitlang geherrscht haben und die Windrichtung östlich geworden ist, Aequatorialströme eintreten, so wird der Ostwind durch Südost nach Süd umschlagen. Wenn die Luft von Süden nach Norden fortströmt, so gelangt sie mit der größeren Rotatiosgeschwindigkeit derjenigen Parallelkreise, welche dem Aequator näher liegen, an Orte, welche eine geringere Rotationsgeschwindigkeit haben; sie wird also der von Westen nach Osten rotirenden Erdoberfläche mit noch größerer Rotationsgeschwindigkeit gleichsam voraneilen, die südliche Windrichtung wird allmälig südwestlich und dann ganz westlich werden müssen. Bei fortdauernder Tendenz der Luft, nach dem Pole zu strömen, wird der Wind alsbald wieder nach Süd zurückspringen, gerade so, wie der Ost nach Norden zurückspringt; wenn aber die Aequatorialströmung durch eine Polarströmung verdrängt wird, so schlägt der Westwind durch Nordwest nach Norden um.

Auf der südlichen Halbkugel muß der Wind in entgegengesetzter Richtung umschlagen.

Wo in den Tropen die Passatwinde wehen, giebt es an der Erdoberfläche selbst gar keine vollständige Drehung, die Richtung des Passates wird nur bei seinem Vordringen immer mehr östlich.

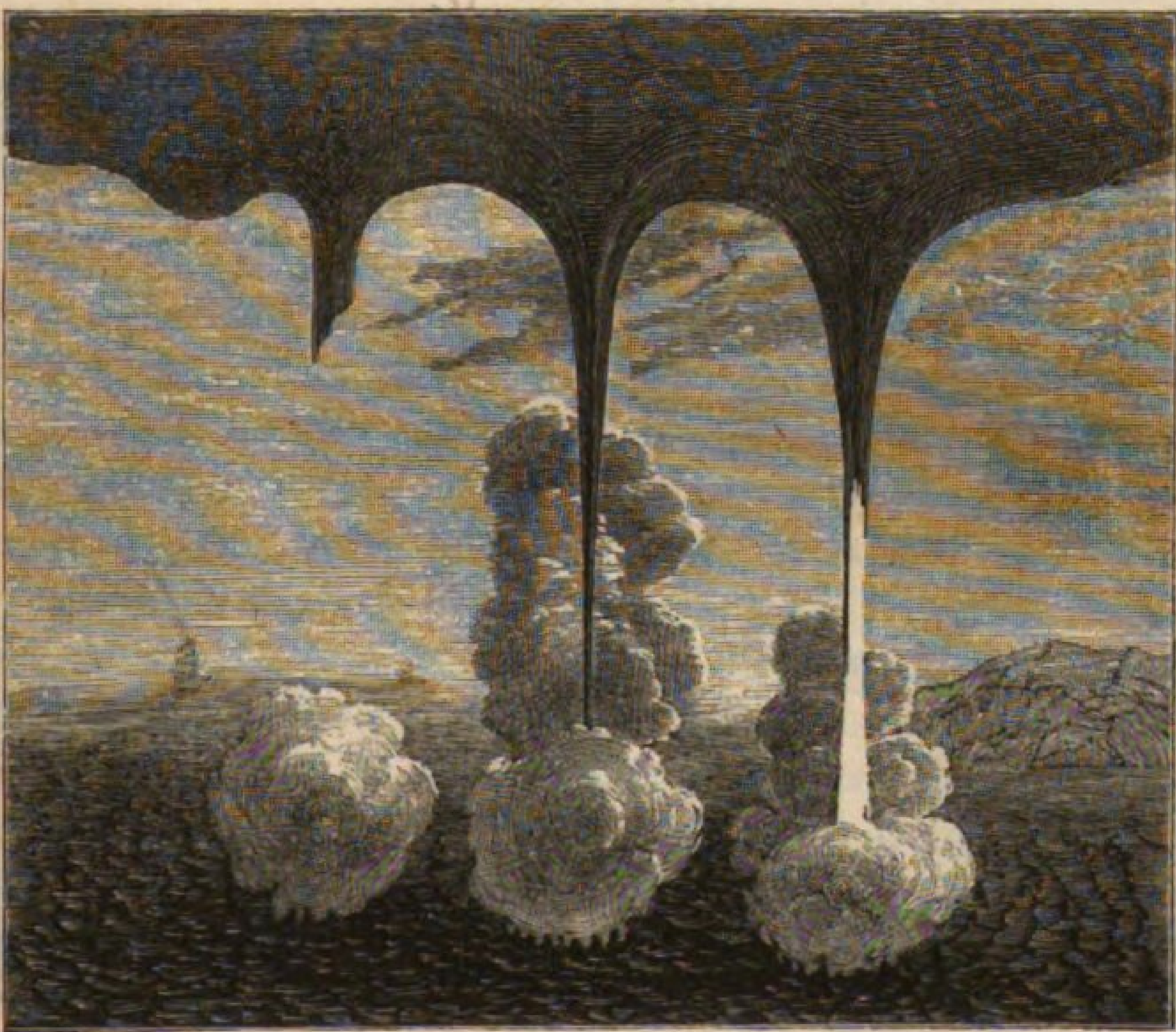
In der Region der Moussons findet im Laufe eines ganzen Jahres nur eine einzige Drehung Statt. Man sieht also, daß die Windverhältnisse der Tropen der einfachste Fall des Drehungsgesetzes sind.

Stürme. Die Stürme sind Folgen einer bedeutenden Störung im Gleichgewichte der Atmosphäre, und höchst wahrscheinlich rührt die Störung von einer raschen Condensation der Wasserdämpfe her, wie dies schon oben angedeutet wurde. 272

Neuere Untersuchungen haben gezeigt, daß die Stürme meistens als große fortschreitende Wirbel zu betrachten sind.

In den Tropen wüthen die Stürme ungleich heftiger als in höheren Breiten; die Zerstörungen der Orkane, welche man in Amerika mit dem Namen der Tornados bezeichnet, sind wahrhaft fürchterlich. So wurden z. B. durch den Sturm, welcher am 26. Juli 1825 Guadeloupe verwüstete, solid gebaute Häuser umgerissen; Kanonen wurden bis zur Brüstung der Batterie, auf welcher sie standen, fortgeschleudert, ein Brett von ungefähr 3 Fuß Länge, 8 Zoll

Fig. 601.



Breite und 10 Linien Dicke wurde mit solcher Geschwindigkeit durch die Luft gejagt, daß es den Stamm eines Palmbaumes, welcher ungefähr 17 Zoll im Durchmesser hatte, durch und durch bohrte.

Oft sieht man bei ruhigem Wetter, wie Sand und Staub durch den Wind in wirbelnder Bewegung fortgeführt werden. Bei herannahenden Gewittern

sieht man schon größere Luftwirbel der Art, welche Staub, Blätter, Stroh u. s. w. mit in die Höhe nehmen. Die **Tromben** sind nichts Anderes als solche Wirbel in größerem Maßstabe; sie werden in der Regel durch den Kampf zweier in den oberen Luftregionen in entgegengesetzter Richtung wehender Winde erzeugt. Sie bilden gewöhnlich einen Doppelkegel; der obere Theil desselben, dessen Spitze herabgesenkt ist, besteht aus einer Wolkenmasse, während der untere Kegel, dessen Spitze nach oben gerichtet ist, aus Wasser besteht, wenn das Meteor auf dem Meere oder über Seen und Flüssen sich bildet, oder aus Sand und sonstigen festen Körpern, wenn die Trombe über das Land hinzieht. Tromben sind im Stande, Bäume zu entwurzeln, Häuser abzudecken, Balken mehrere hundert Schritte weit fortzuschleudern u. s. w. Die Wassertromben sind unter dem Namen der **Wasserhosen**, Fig. 601 (a. vor. S.), bekannt; sie heben das Wasser oft bis zu einer bedeutenden Höhe.

Drittes Capitel.

Von der atmosphärischen Feuchtigkeit.

Verbreitung des Wasserdampfes in der Luft. Wenn man an einem heißen Sommertage eine mit Wasser gefüllte Schale ins Freie stellt, so sieht man die Quantität des Wassers rasch abnehmen; es verdunstet, das heißt, es geht in Dampfgestalt über und verbreitet sich in der Luft. Der Wasserdampf ist wie jedes andere farblose durchsichtige Gas für unsere Blicke unsichtbar, das Wasser scheint, indem es verdunstet, gänzlich verschwunden zu sein. 273

Das in der Luft verbreitete Wasser wird erst wieder sichtbar, wenn es, in seinen flüssigen Zustand zurückkehrend, Nebel oder Wolken, Thau oder Reif bildet. Wenn man sich von der Existenz des Wasserdampfes in der Luft überzeugen will, muß man ihn auf irgend eine Weise verdichten.

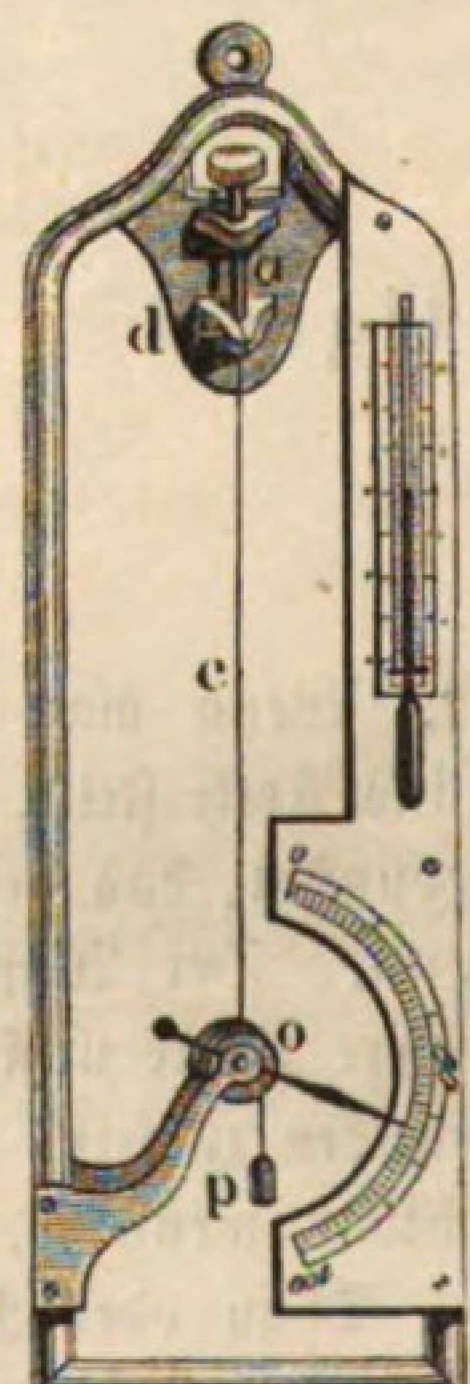
Ganz unmittelbar erhält man die Menge des in einem bestimmten Volumen Luft enthaltenen Wasserdampfes, wenn man die Luft durch ein mit hygroskopischen Substanzen gefülltes Rohr saugt. Um ein regelmäßiges Durchstreichen der Luft durch das Absorptionsrohr zu bewirken, wendet man einen Aspirator an. Es ist dies im Wesentlichen ein bis auf zwei Oeffnungen verschlossenes, mit Wasser gefülltes Gefäß; aus der einen Oeffnung fließt durch ein Rohr beständig Wasser ab, die andere Oeffnung ist mit dem Absorptionsrohre in Verbindung, so daß hier eine dem ausfließenden Wasser gleiche Menge getrockneter Luft eintritt. Wie viel Wasserdampf in der durch das Absorptionsrohr gesaugten Luftmenge enthalten war, ergiebt sich, wenn man dies Rohr vor und nach dem Versuche wägt.

Diese Bestimmungsweise des Wassergehaltes der Luft mit dem Aspirator, dem man verschiedene, bald mehr, bald weniger zweckmäßige Formen gegeben hat, ist allerdings etwas umständlich und giebt auch nicht den Wassergehalt der Luft in einem bestimmten Momente, sondern den mittleren Wassergehalt wäh-

rend der ganzen Dauer des Versuches; man hat deshalb zur Bestimmung der atmosphärischen Feuchtigkeit kleinere, leichter transportable Apparate construirt, welche unter dem Namen der Hygrometer bekannt sind.

Es ist bekannt, daß viele organische Körper die Eigenschaft haben, Wasserdampf zu absorbiren und sich dabei verhältnißmäßig zu verlängern. Unter anderen sind auch Haare, Fischbein u. s. w. solche hygroskopische Körper, und man benutzt sie deshalb zur Construction von Hygrometern. Das beste Instrument der Art ist das von Saussure angegebene Haarhygrometer, welches Fig. 602 abgebildet ist.

Fig. 602.



$\frac{1}{4} - \frac{1}{5}$

Das Haar ist mit seinem oberen Ende an einem Zängelchen *d* befestigt, das andere Ende aber ist um eine mit zwei Rinnen versehene Rolle geschlungen, während in der anderen Rinne um die Rolle ein Seidenfaden geschlungen ist, an welchem ein kleines Gewicht *p* hängt, durch welches das Haar beständig gespannt erhalten wird. An der Axe der Rolle ist ein Zeiger befestigt, welcher an einem Gradbogen hin- und hergeht, wenn die Rolle durch die Verlängerung oder Verkürzung des Haares gedreht wird.

Wenn sich das Instrument in feuchter Luft befindet, so absorbirt das Haar viel Wasserdampf und wird dadurch länger, in trockener Luft aber verkürzt es sich, wodurch natürlich der Zeiger bald nach der einen, bald nach der anderen Seite gedreht wird.

Die Graduirung des Instrumentes wird auf folgende Weise bewerkstelligt. Zuerst bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren innerer Raum durch Chlorcalcium oder durch Schwefelsäure ausgetrocknet wird. Die Stelle der Scala, auf welcher sich der Zeiger unter diesen Verhältnissen feststellt, ist der Punkt der größten Trockenheit, er wird mit 0 bezeichnet.

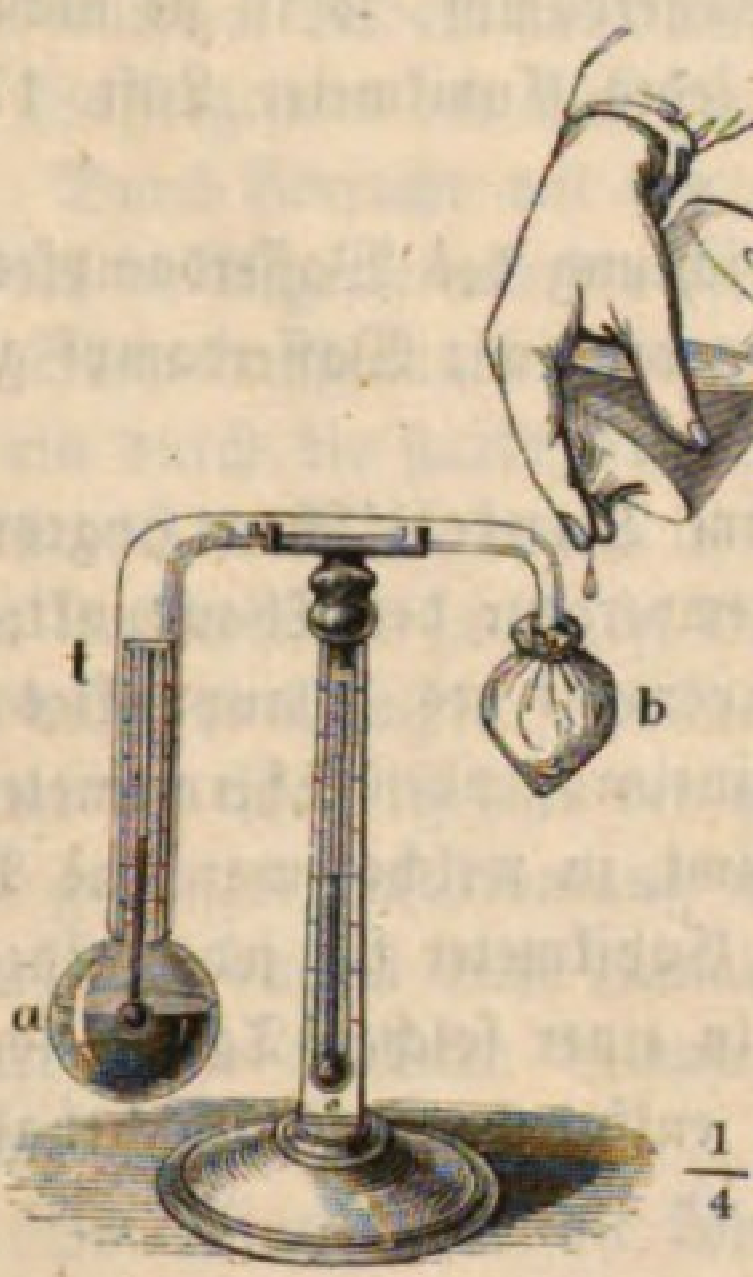
Nun bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren Wände mit destillirtem Wasser befeuchtet sind, während auch auf dem Boden, auf welchem die Glocke steht, destillirtes Wasser ausgebreitet ist. Der Raum unter der Glocke sättigt sich bald mit Wasserdampf, und der Zeiger geht nach dem anderen Ende der Scala hin. Der Punkt, wo er sich jetzt feststellt, ist der Punkt der größten Feuchtigkeit, er wird mit 100 bezeichnet.

Der Zwischenraum zwischen diesen beiden Punkten wird in 100 gleiche Theile getheilt, welche man Feuchtigkeitsgrade nennt.

Die Beziehungen zwischen diesen Graden auf den Wassergehalt der Luft müssen an jedem Instrumente durch Versuche ermittelt werden, die wir nicht näher betrachten können.

Daniell's Hygrometer ist Fig. 603 dargestellt; es besteht aus einer 274
gekrümmten Röhre, welche mit zwei Kugeln endigt; die eine, *a*, ist entweder vergoldet oder mit einer ganz dünnen glänzenden Platinschicht überzogen, die andere ist mit einem Läppchen feiner Leinwand umwickelt. Die Kugel *a* ist zur Hälfte mit Aether gefüllt und enthält ein kleines Thermometer, dessen Theilung in die Röhre *t* hineinragt. Der Apparat ist vollkommen luftleer. Wenn man nun Aether auf die Kugel *b* tröpfelt, so wird sie durch die Verdampfung des Aethers erkaltet, im Inneren derselben werden Aetherdämpfe condensirt und dadurch eine Verdampfung des Aethers in der Kugel *a* bewirkt, indem gewissermaßen der Aether aus der wärmeren Kugel *a* in die kältere *b* überdestillirt. Bei der Dampfbildung in der Kugel *a* wird aber ebenfalls Wärme gebunden und sie beschlägt sich endlich mit einem zarten Thau.

Fig. 603.



Die Entstehung dieses Thaues läßt sich leicht erklären. Wir haben schon oben gesehen, daß im leeren Raume die Spannkraft des Wasserdampfes für eine bestimmte Temperatur eine gewisse Gränze nicht übersteigen kann, daß das Maximum der Spannkraft mit der Temperatur steigt. Für eine Temperatur von 20° z. B. ist das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes 17,3 Millimeter und die entsprechende Dichtigkeit des Wasserdampfes 0,00001718; in einem luftleeren Raume von 1 Cubikmeter können also bei einer Temperatur von 20° höchstens 17,18 Gramm Wasser als Dampf enthalten sein.

Wir haben aber ferner gesehen, daß in einem lufterfüllten Raume gerade ebenso viel Wasserdampf enthalten sein kann als in einem gleich großen luftleeren Raume, und daß sich in diesem Falle die Spannkraft der Luft und die Spannkraft des in ihr verbreiteten Wasserdampfes summiren. Bei einer Temperatur von 20° können also in einem Cubikmeter Luft ebenfalls 17,18 Gramm Wasser als Dampf enthalten sein.

Man sagt, die Luft sei mit Wasserdampf gesättigt, wenn der in ihr verbreitete Wasserdampf das ihrer Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft und Dichtigkeit erreicht hat.

Bringt man in eine mit Wasserdampf gesättigte Luft einen kälteren Körper, so wird dieser die nächsten Luftschichten erkalten, ein Theil des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes wird sich verdichten müssen und setzt sich in Form von feinen Tröpfchen an den kalten Körper an. Auf diese Weise bildet sich der Beschlag an den Fensterscheiben in einem bewohnten erwärmten Zimmer, wenn die Temperatur der äußeren Luft niedrig genug ist, um die Fensterscheiben hinlänglich zu erkalten.

Nicht immer ist die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, d. h. es ist nicht immer in derselben gerade so viel Wasserdampf enthalten, als sie bei ihrer Temperatur aufnehmen könnte. Nehmen wir z. B. an, jedes Cubikmeter Luft enthielte bei einer Temperatur von 20° nur 13,63 Gramm Wasserdampf, so ist sie nicht gesättigt; denn bei dieser Temperatur könnte ja jedes Cubikmeter Luft 17,18 Gramm Wasserdampf enthalten.

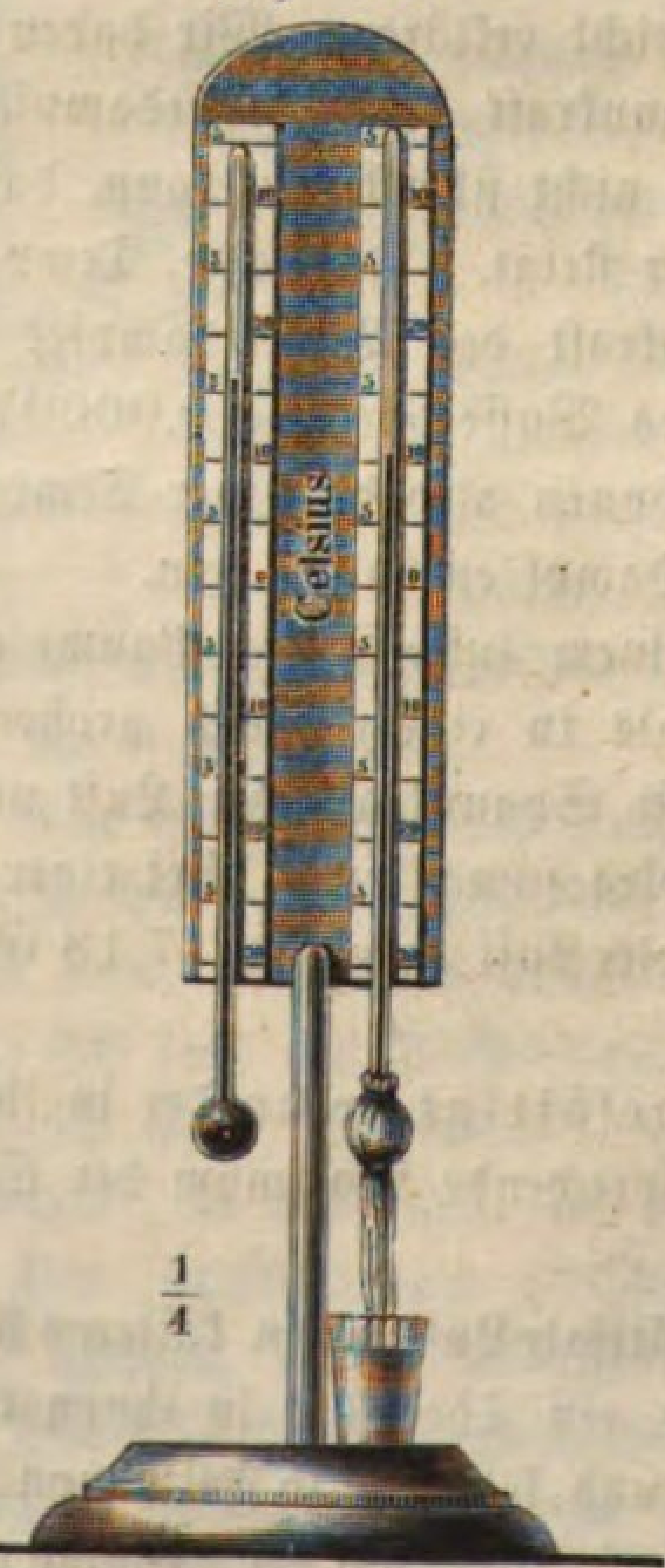
Die Temperatur, für welche eben die Verdichtung des Wasserdampfes beginnt, die Temperatur also, für welche die Luft gerade mit Wasserdampf gesättigt ist, heißt der Thaupunkt.

Der Thaupunkt ist es nun, welchen man am Daniell'schen Hygrometer beobachtet; sobald nämlich die Kugel *a* bis zur Temperatur des Thaupunktes erkaltet ist, fängt sie an sich zu beschlagen, die Temperatur des Thaupunktes liest man dann unmittelbar an dem in die Kugel *a* hineinragenden Thermometer ab.

Wenn man nun eine Tabelle zur Hand nimmt, in welcher man das Maximum des Wassergehaltes in einem Raume von 1 Cubikmeter für jeden einzelnen Temperaturgrad angegeben findet, so kann man in einer solchen Tabelle sogleich finden, welches der dem beobachteten Thaupunkt entsprechende Wassergehalt der Luft ist.

275 **August's Psychrometer** ist Fig. 604 dargestellt; es besteht aus zwei an einem und demselben Gestelle befestigten Thermometern; die Kugel des einen ist mit einem feinen Leinwandläppchen umgeben, während die Kugel des anderen frei bleibt; wenn man die Hülle der einen Thermometerkugel mit Wasser befeuchtet, so wird das Wasser verdunsten, und zwar wird die Verdunstung um so rascher vor sich gehen, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Die Verdunstung des Wassers ist aber von einer Wärmebindung begleitet, in Folge deren das umwickelte Thermometer sinkt. Wenn die Luft vollkommen mit Feuchtigkeit gesättigt ist, so wird kein Wasser verdampfen können, die beiden Thermometer stehen alsdann gleich hoch; ist aber die Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt, so wird das umwickelte Thermometer sinken, und zwar um so tiefer, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Aus der Temperaturdifferenz der beiden Thermometer kann man auf den Feuchtigkeitszustand der Luft schließen.

Fig. 604.



Tägliche und jährliche Variationen im Wassergehalte der Luft. Da bei hoher Temperatur mehr Wasserdampf in der Luft verbreitet sein kann, da mit steigender Wärme das Wasser an der Oberfläche der Gewässer und vom feuchten Boden mehr und mehr verdunstet, so läßt sich wohl erwarten, daß der Wassergehalt der Luft im Laufe eines Tages ab- und zunehmen wird. 276

Durch Versuche mit den oben beschriebenen Instrumenten hat man ermittelt, daß sich im Allgemeinen die Menge des Wasserdampfes in der Luft vermehrt, wenn mit Sonnenaufgang die Temperatur steigt; jedoch dauert dies nur bis 9 Uhr, wo ein durch die starke Erwärmung des Bodens veranlaßter aufwärtssteigender Luftstrom die Dämpfe mit in die Höhe nimmt, so daß der Wassergehalt der unteren Luftschichten geringer wird, obgleich bei immer zunehmender Wärme die Bildung der Dämpfe fortdauert. Die Abnahme dauert bis gegen 4 Uhr; jetzt nimmt der Wassergehalt der unteren Luftschichten wieder zu, weil nun die nach oben gerichtete Luftströmung aufhört den sich bildenden Wasserdampf wegzuführen; jedoch dauert diese Zunahme nur bis gegen 9 Uhr Abends, weil nun die immer mehr sinkende Temperatur der Luft der ferneren Dampfbildung eine Gränze setzt.

Im Winter, wo die Wirkung der Sonne weniger intensiv ist, verhält sich die Sache anders; im Januar beobachtet man nur ein Maximum des Wassergehaltes der Luft um 2 Uhr Nachmittags und ein Minimum zur Zeit des Sonnenaufganges.

Wir sagen: »die Luft ist trocken,« wenn das Wasser rasch verdunstet und wenn befeuchtete Gegenstände durch dieses rasche Verdunsten schnell trocken werden; dagegen sagen wir: »die Luft ist feucht,« wenn befeuchtete Gegenstände an der Luft nur langsam oder gar nicht trocknen, wenn die geringste Temperaturerniedrigung feuchte Niederschläge bewirkt, und wenn etwas kältere Gegenstände sich mit Feuchtigkeit überziehen. Wir nennen also die Luft trocken, wenn sie weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, feucht dagegen, wenn der Thaupunkt der Temperatur der Luft sehr nahe liegt; mit diesem Urtheile über die Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft verbinden wir also durchaus kein Urtheil über den absoluten Wassergehalt der Luft. Wenn an einem heißen Sommertage bei einer Temperatur von 25° C. jedes Cubikmeter Luft 13 Gramm Wasserdampf enthält, so sagen wir, die Luft sei sehr trocken; denn bei dieser Temperatur könnte jedes Cubikmeter Luft 22,5 Gramm Wasserdampf enthalten, oder die Luft müßte bis auf 15° erkaltet werden, um bei unverändertem Wassergehalte gesättigt zu sein. Wenn dagegen im Winter bei einer Temperatur von + 2° jedes Cubikmeter Luft nur 6 Gramm Wasserdampf enthält, so ist die Luft sehr feucht, weil die Luft für die herrschende Temperatur beinahe vollständig mit Wasserdampf gesättigt ist und die geringste Temperaturerniedrigung schon einen Niederschlag zur Folge hat.

In diesem Sinne können wir sagen, daß zur Zeit des Sonnenaufgangs die Luft am feuchtesten sei, obgleich der absolute Wassergehalt geringer ist als zu jeder anderen Tageszeit. Gegen 3 Uhr Nachmittags ist im Sommer die Luft am trockensten.

Der absolute Wassergehalt der Luft ist wie die mittlere Lufttemperatur im Januar ein Minimum, er nimmt bis zum Juli zu, wo er sein Maximum erreicht, dann aber nimmt er wieder ab bis zum Ende des Jahres.

Obgleich nun der Wassergehalt der Luft im Sommer größer ist als im Winter, so sagt man doch, die Luft sei im Sommer trockener, weil sie im Sommer durchschnittlich weiter von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist.

277 **Feuchtigkeit der Luft in verschiedenen Gegenden.** Die Bildung des Wasserdampfes ist vorzugsweise von zwei Bedingungen abhängig, nämlich von der Temperatur und von der Gegenwart von Wasser. Bei einem unbegränzten Wasservorrathe werden sich um so mehr Wasserdämpfe bilden, je höher die Temperatur ist; bei gleicher Temperatur aber werden sich in wasserreichen Gegenden mehr Dämpfe bilden können als in wasserarmen. Daraus folgt nun, daß der absolute Wassergehalt der Luft unter sonst gleichen Umständen von dem Aequator nach den Polen hin abnehmen muß, und daß sie im Inneren der großen Continente trockener, d. h. weiter von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, als auf dem Meere und an den Meeresküsten. Wie sehr die Trockenheit der Luft mit der Entfernung vom Meere zunimmt, beweist schon die Heiterkeit des Himmels der Binnenländer.

278 **Der Thau.** Es ist oben, auf Seite 741, bemerkt worden, wie der feine Thau auf der glänzenden Kugel des Daniell'schen Hygrometers entsteht, wenn diese Kugel erkaltet wird. Ebenso erklärt sich die Thaubildung im Großen.

Wenn im Sommer nach Sonnenuntergang der Himmel heiter und die Luft ruhig bleibt, so werden die verschiedenen Gegenstände auf der Erdoberfläche durch die nächtliche Strahlung gegen den Himmelsraum mehr und mehr erkalten, ihre Temperatur sinkt um 2, 3, ja manchmal um 7 bis 8^0 unter die Temperatur der Luft herab; die kalten Körper erniedrigen auch die Temperatur der sie zunächst umgebenden Luftschichten; und wenn diese bis zum Thaupunkt erkaltet sind, so wird sich ein Theil des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes in Form von feinen Tröpfchen an die kalten Körper ansetzen.

Da nicht alle Körper gleiches Wärmestrahlungsvermögen haben, so erkalten auch einige stärker als andere, und so kommt es, daß manche Körper stark mit Thau überzogen sind, während andere fast ganz trocken bleiben. Gras und Blätter erkalten besonders stark durch die nächtliche Strahlung, theils weil sie ein sehr starkes Strahlungsvermögen besitzen, theils aber auch, weil sie frei in die Luft hineinragen, so daß ihnen vom Boden aus nur wenig Wärme zugeleitet werden kann; man findet sie deshalb stärker bethauet als Steine und den nackten Boden.

Eine Wolkendecke, welche den Himmel überzieht, hindert die Thaubildung, weil sie die nächtliche Strahlung hindert. Auch wenn ein nur etwas lebhafter Wind weht, thaut es nicht, weil er beständig von Neuem warme Luft mit den festen Körpern in Berührung bringt, wodurch diesen fortwährend Wärme zuge-

führt wird und die Luft an ihnen vorbeistreicht, ehe sie bis zum Thaupunkte erkaltet werden kann.

Der Reif ist nichts Anderes als gefrorener Thau. Wenn der Körper, an welchem sich der condensirte Wasserdampf absetzt, unter 0° erkaltet ist, so kann er sich nicht mehr in flüssiger Gestalt, sondern in Form von Eisnadeln absetzen.

Nebel und Wolken. Wenn die Wasserdämpfe, aus einem Topf mit 279
kochendem Wasser aufsteigend, sich in in der kälteren Luft verbreiten, so werden sie alsbald verdichtet, es entsteht der Schwaden, welcher aus einer Menge kleiner hohler Wasserbläschen besteht, die in der Luft schweben. Man nennt diesen Schwaden auch öfters Dampf, doch ist es kein eigentlicher Dampf mehr, wenigstens kein Dampf im physikalischen Sinne des Wortes, denn es ist ja ein verdichtetes Wassergas.

Wenn die Verdichtung der Wasserdämpfe nicht durch Berührung mit kalten festen Körpern, sondern durch die ganze Masse der Luft hindurch vor sich geht, so entstehen Nebel, welche im Großen dasselbe sind wie der Schwaden, den wir über kochendem Wasser sehen.

Die Nebel entstehen häufig, wenn das Wasser der Seen und Flüsse oder der feuchte Boden wärmer sind als die schon mit Feuchtigkeit gesättigte Luft. Die Dämpfe, welche in Folge der höheren Temperatur des Wassers oder des feuchten Bodens gebildet werden, verdichten sich alsbald wieder, wenn sie sich in der kälteren schon mit Wasserdämpfen gesättigten Luft verbreiten. Bei gleicher Temperaturdifferenz des Wassers und der Luft bilden sich keine Nebel, wenn die Luft trocken ist, so daß sich alle die Wasserdämpfe, welche vom Boden aufsteigen, in ihr verbreiten können, ohne sie zu sättigen.

Nach dem, was so eben über die Bildung des Nebels gesagt wurde, erklärt sich leicht, daß sich die Nebel vorzugsweise im Herbste über Flüssen und Seen und über feuchten Wiesen bilden. In England sind die Nebel besonders häufig, weil es von einem warmen Meere umspült ist; ebenso sind die warmen Gewässer des Golfstromes, welcher bis nach Neufoundland hinaufströmt, die Ursache der dort so häufigen dichten Nebel.

Manchmal beobachtet man Nebel unter den entgegengesetzten Umständen; so sieht man dichte Nebel über den Flüssen, während die Luft wärmer ist als das Wasser oder das Eis. In diesem Falle ist die warme Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, und wenn sie sich mit den Luftschichten mischt, welche durch die Berührung mit dem kalten Wasser oder dem Eise schon eine niedrigere Temperatur erlangt haben, so muß nothwendig eine Condensation des Wasserdampfes erfolgen.

Auf diese Weise entstehen auch im Sommer nach Gewitterregen die Nebel über Flüssen und Seen. Die Luft ist wärmer als die Oberfläche des Wassers, aber sie ist mit Feuchtigkeit gesättigt, und sobald sie sich an Orte verbreitet, an welchen die Frische des Wassers fühlbar ist, wird durch die Erkaltung der Wasserdampf verdichtet.

Der Nebel bildet sich jedoch nicht allein über Flüssen und Seen, sondern auch mitten im Lande, sobald durch Luftströmungen wärmere feuchte Luftmassen mit kälteren gemischt und ihre Temperatur unter den Thaupunkt erniedrigt wird.

Die Wolken sind nichts Anderes als Nebel, welche in den höheren Luftregionen schweben, sowie dann Nebel nichts sind als Wolken, welche auf dem Boden aufliegen. Oft sieht man die Gipfel der Berge in Wolken eingehüllt, während die Wanderer auf diesen Bergspitzen sich mitten im Nebel befinden.

Auf den ersten Anblick scheint es unbegreiflich, wie die Wolken in der Luft schweben können, da sie doch aus Bläschen bestehen, welche offenbar schwerer sind als die umgebende Luft. Da das Gewicht dieser kleinen Wasserbläschen im Vergleich zu ihrer Oberfläche sehr gering ist, so muß die Luft ihrem Falle einen bedeutenden Widerstand entgegensetzen; sie können sich jedenfalls nur sehr langsam herabsenken, wie ja auch eine Seifenblase, welche überhaupt mit unseren Dunstbläschen eine große Aehnlichkeit hat, in ruhiger Luft nur langsam fällt. Somit müssen aber doch die Dunstbläschen, wenn auch noch so langsam, sinken, und man sollte demnach meinen, daß bei ruhigem Wetter sich die Wolken doch endlich bis auf den Boden herabsenken müßten.

Die bei ruhigem Wetter allerdings herabsinkenden Dunstbläschen können aber den Boden nicht erreichen, weil sie bald in wärmere, nicht mit Dämpfen gesättigte Luftschichten gelangen, in welchen sie sich wieder in Dampf auflösen und dem Blicke entschwinden; während sich aber unten die Dunstbläschen auflösen, werden an der oberen Gränze neue gebildet, und so scheint die Wolke unbeweglich in der Luft zu schweben.

Wir haben eben die Dunstbläschen in ganz ruhiger Luft betrachtet. In bewegter Luft werden sie der Richtung der Luftströmung folgen müssen; ein Wind, welcher sich in horizontaler Richtung fortbewegt, wird die Wolken auch in horizontaler Richtung fortführen, und ein aufsteigender Luftstrom wird sie mit in die Höhe nehmen, sobald seine Geschwindigkeit größer ist als die Geschwindigkeit, mit welcher die Dampfbläschen in ruhiger Luft herabfallen würden. Sehen wir ja doch auch, wie die Seifenblasen durch den Wind fortgeführt und über Häuser hinweggetragen werden. So erklärt sich denn auch durch die aufsteigenden Luftströme das Steigen des Nebels.

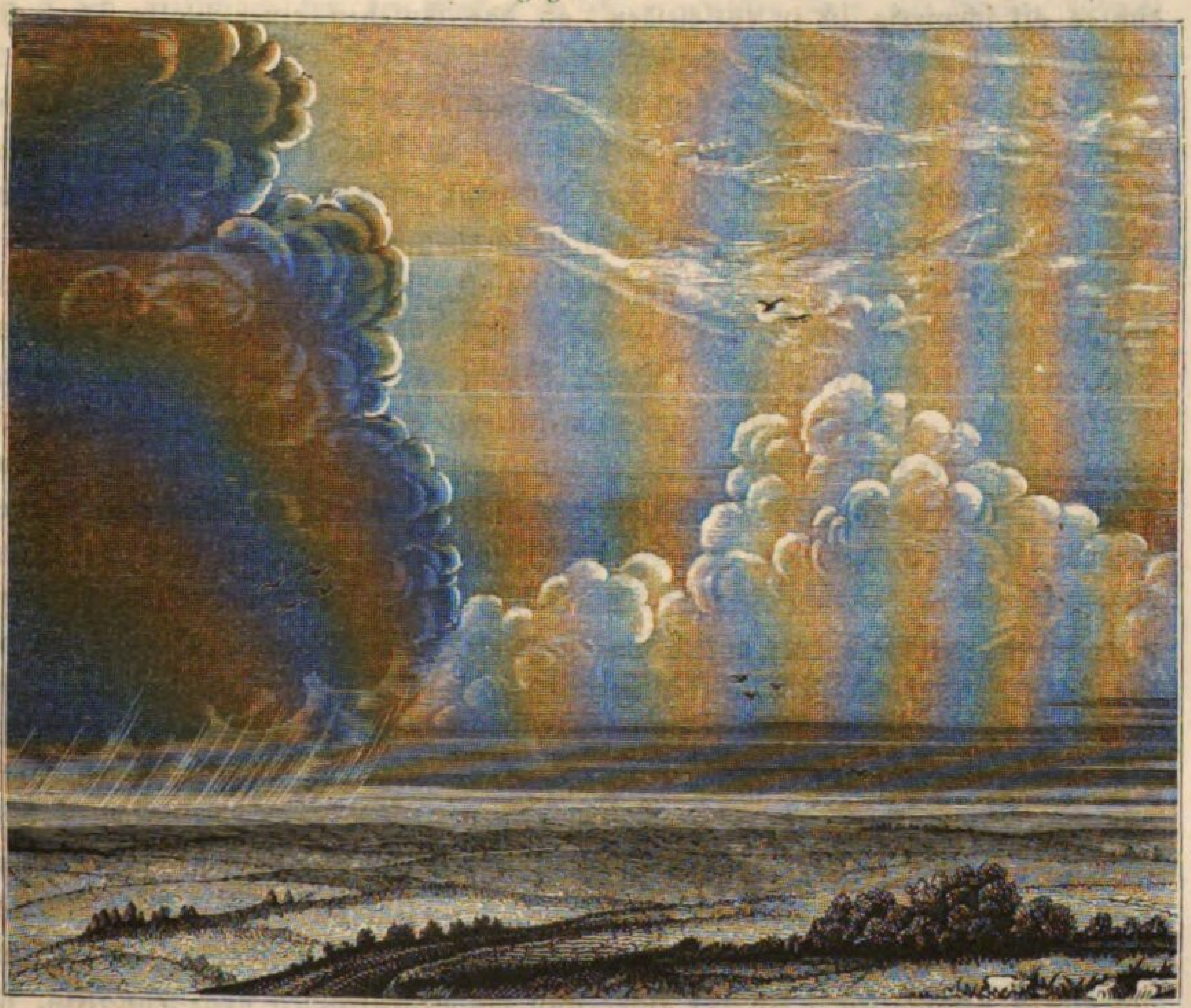
Das Ansehen der Wolken ist, je nachdem sie höher oder tiefer schweben, je nachdem sie mehr oder weniger dicht, auf diese oder jene Weise beleuchtet sind u. s. w., gar mannigfaltig. Howard hat unter den verschiedenen Wolken folgende Hauptarten unterschieden.

1) Die Federwolke, cirrus, besteht aus sehr zarten, bald mehr streifigen, bald mehr locken- und federartigen Fasern, welche nach schönem Wetter zuerst am Himmel erscheinen. In unserer Fig. 605 sieht man sie in dem Eck oben rechts bis herunter, wo die zwei Vögel schweben. Bei trockenem Wetter sind die Federwolken mehr streifig, bei feuchtem mehr verwaschen.

2) Die Haufenwolke, cumulus, welche in unserer Figur gerade unter die Federwolke gezeichnet ist, bildet große halbkugelförmige Massen, welche auf horizontaler Basis zu ruhen scheinen. Diese Wolken erscheinen vorzugsweise

im Sommer; manchmal thürmen sich Haufenwolken zu malerischen Gruppen zusammen und bieten dann, von der Sonne beschienen, den Anblick ferner Schneegebirge.

Fig. 605.



3) Die Schichtwolken, stratus, sind horizontale Wolkenstreifen (in unserer Figur unter dem cumulus), welche vorzugsweise bei Sonnenuntergang mit außerordentlicher Farbenpracht erscheinen.

Diese Grundformen gehen auf mannigfaltige Weise in einander über; Howard hat diese Uebergangsformen durch die Namen cirro-cumulus, cirro-stratus, cumulo-stratus und nimbus bezeichnet.

Die federige Haufenwolke, cirro-cumulus, ist der Uebergang der Federwolke zur Haufenwolke, es sind die kleinen, weißen, runden Wölkchen, welche unter dem Namen Schäfchen allgemein bekannt sind.

Wenn die Federwolken nicht einzeln zerstreut, sondern zu Streifen von bedeutender Ausdehnung verbunden sind, so bilden sie die federige Schichtwolke, cirro-stratus, welche, wenn sie nahe am Horizonte stehen, den Anblick ausgedehnter Schichten bieten; oft überziehen die cirro-stratus den ganzen Himmel mit einem Schleier.

Wenn die Haufenwolken dichter werden, so gehen sie in die streifige Haufenwolke, cumulo-stratus, über, welche oft den ganzen Horizont mit

einem blauschwarzen Farbentone überziehen und endlich in die eigentliche Regenwolke, nimbus (in unserer Figur links), übergehen.

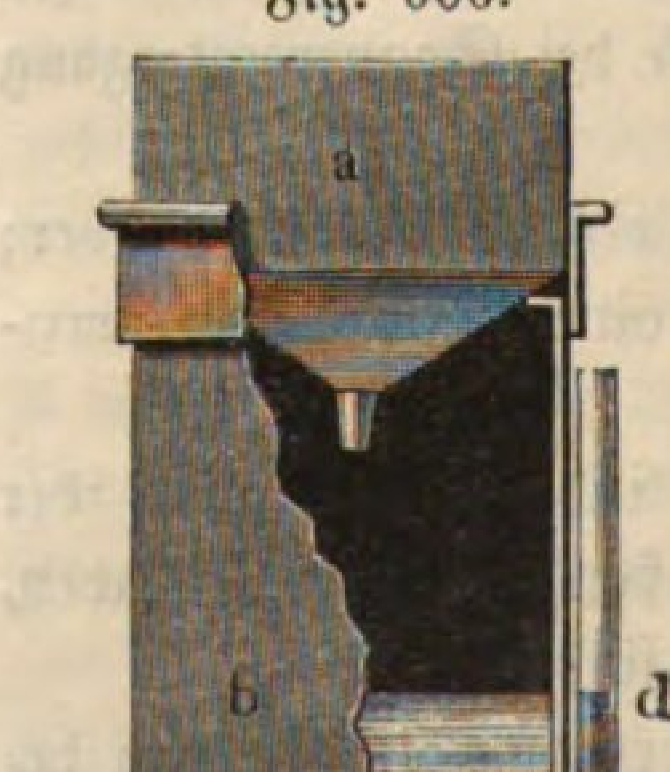
Wenn man bedenkt, wie außerordentlich mannigfaltig an Gestalt sowohl als auch an Farbe die verschiedenen Wolken sein können, so begreift man wohl, daß es oft schwierig ist zu entscheiden, ob das Ansehen einer Wolke sich mehr dem einen oder dem anderen Typus nähert.

Unter allen Wolkenarten sind die Federwolken die höchsten, denn auf hohen Bergen bieten sie noch denselben Anblick wie im Thale. Kämtz hat zu Halle ihre Höhe annähernd zu 20,000 Fuß bestimmt. Es ist höchst wahrscheinlich, daß die cirrus nicht aus Nebelbläschen, sondern aus Schneeflöckchen bestehen.

Die Haufenwolken bilden sich gewöhnlich, wenn durch den aufsteigenden Luftstrom die Wasserdämpfe in die Höhe geführt und dort, wegen der geringeren Temperatur, verdichtet werden. Daher kommt es, daß sich oft gegen Mittag Wolken bilden, während die Sonne am heiteren Himmel aufgegangen ist, und gegen Abend der Himmel wieder heiter wird, weil die Wolken sich wieder senken, wenn der aufsteigende Strom aufhört; in tieferen, wärmeren Regionen angekommen, lösen sich dann die Wolken wieder auf, wenn die Luft nicht mit Dämpfen gesättigt ist. Wenn aber der Südwestwind mehr und mehr Wasserdämpfe herbeiführt, wenn die Luft mit Dämpfen gesättigt ist, so können die sich senkenden Wolken nicht wieder aufgelöst werden, sie werden dichter und dunkler, während oft hoch über den unteren Wolken eine Schicht von Federwolken schwebt. Die unteren Haufenwolken gehen dann mehr und mehr in cumulo-stratus über und man hat alsdann Regen zu erwarten.

Wenn durch fortwährende Condensation von Wasserdämpfen die einzelnen Dunstbläschen größer und schwerer werden, wenn endlich einzelne Bläschen sich nähern und zusammenfließen, so bilden sich förmliche Wassertropfen, welche nun als Regen herabfallen. In der Höhe sind die Regentropfen noch sehr klein, sie werden aber während des Fallens größer, weil sie wegen ihrer geringeren Temperatur die Wasserdämpfe der Luftschichten verdichten, durch welche sie herabfallen.

Fig. 606.



280 **Regenmenge.** Die Menge des Regens, welcher an irgend einem Orte der Erde im Laufe des Jahres fällt, ist für die Meteorologie ein höchst wichtiges Element. Die Instrumente, deren man sich zu diesem Zwecke bedient, werden Regenmesser, Ombrometer oder Udometer genannt. Die Fig. 606 stellt den gewöhnlichen Regenmesser dar; er besteht aus einem Blechgefäß *b*, dessen quadratischer Querschnitt ungefähr 1 Quadratfuß beträgt und auf welchen ein zweites Gefäß *a* mit trichterartigem Boden aufgesetzt wird. In der Mitte dieses Trichters befindet sich eine Oeffnung, durch welche alles Wasser, welches in Form von Regen in das oben offene Gefäß *a* hineinfällt,

in das Behälter *b* abfließt. Das unten gekrümmte Glasrohr *d* steht mit dem Inneren des Gefäßes *b* in Verbindung, so daß man auf einer hinter *d* angebrachten Scala die Höhe des Wasserstandes in *b* ablesen kann. Vorausgesetzt, daß die Querschnitte von *a* und *b* gleich sind, giebt die Höhe der Wassersäule in *d* an, wie hoch sich der Boden in einer gewissen Zeit mit Wasser bedeckt haben würde, wenn es nicht eingeschluckt worden oder verdunstet wäre.

Die jährliche Regenmenge beträgt

zu Lissabon	25	Par. Zoll
Dover	44	»
London	23	»
Paris	21	»
Regensburg	21	»
Bergen	83	»
Stockholm	19	»
Petersburg	17	»
Genua	44	»
Rom	29	»

Die Regenmenge ist jedoch nicht gleichförmig über das ganze Jahr vertheilt; in dieser Beziehung läßt sich Europa in drei Provinzen theilen.

In England, auf den Westküsten von Frankreich, in den Niederlanden und Norwegen sind die Herbstregen vorherrschend.

In Deutschland, den westrheinischen Gegenden, Dänemark und Schweden herrschen die Sommerregen vor.

Die Sommerregen fehlen im südöstlichen Frankreich, Italien, dem südlichen Portugal, überhaupt dem Theile Europas, welcher Afrika zunächst liegt, fast ganz.

Die Anzahl der Regentage während eines Jahres nimmt in Europa im Allgemeinen von Süden nach Norden zu. Im Durchschnitte kommen auf das Jahr

im südlichen Europa	120	Regentage
» mittleren »	146	»
» nördlichen »	180	»

Daß die Regenmenge nicht allein von der Zahl der Regentage abhängen kann, ist klar; denn es kommt ja nicht allein darauf an, an wie vielen Tagen es regnet, sondern auch wie viel es regnet. Wenn in nördlicheren Gegenden die Zahl der Regentage zunimmt, so nimmt dagegen die Intensität des Regens im Allgemeinen ab, und so erklärt es sich z. B., daß in Petersburg die Zahl der Regentage zwar größer, die Regenmenge aber geringer ist als in Rom.

Mit der Entfernung der Meere nimmt sowohl die Regenmenge als auch die Zahl der Regentage ab; so kommen z. B. im Durchschnitt

in Petersburg	168,
» Kasan	90,
» Jakutzk	60

Regentage auf das ganze Jahr.

So wie unter sonst gleichen Umständen der Regen in wärmeren Gegenden intensiver ist als in kälteren, so ist er auch in der warmen Jahreszeit intensiver als in der kalten. Im Durchschnitt kommen in Deutschland auf den Winter 38, auf den Sommer 42 Regentage; die Zahl der Regentage ist also im Sommer kaum etwas bedeutender als im Winter, und doch ist die Regenmenge im Sommer ungefähr doppelt so groß als im Winter. In den Sommermonaten fällt oft bei einem einzigen Gewitter mehr Regen als sonst in mehreren Wochen.

281 **Regen zwischen den Wendekreisen.** Da, wo die Passatwinde mit großer Regelmäßigkeit wehen, ist der Himmel meistens heiter, und es regnet selten, namentlich wenn die Sonne auf der anderen Hemisphäre steht. Auf den Continenten aber wird die Regelmäßigkeit des Passates gestört durch die Intensität des aufsteigenden Luftstroms, sobald sich die Sonne dem Zenith nähert; um diese Zeit stellt sich auch ein mehrere Monate andauerndes heftiges Regenwetter ein, während die andere Hälfte des Jahres hindurch der Himmel heiter und die Luft trocken ist.

Humboldt hat uns die Erscheinungen der nassen Jahreszeit im nördlichen Theile von Südamerika beschrieben. Vom December bis zum Februar ist die Luft trocken und der Himmel heiter. Im März wird die Luft feuchter, der Himmel weniger rein, der Passatwind weht weniger stark, und oft ist die Luft ganz ruhig. Mit Ende März beginnen die Gewitter; sie bilden sich des Nachmittags, wenn die Hitze am größten ist, und sind von heftigen Regengüssen begleitet. Gegen Ende Aprils fängt eigentlich die nasse Jahreszeit an; der Himmel überzieht sich mit einem gleichförmigen Grau, und es regnet täglich von 9 Uhr Morgens bis 4 Uhr Nachmittags; des Nachts ist der Himmel meistens rein. Der Regen wird am heftigsten, wenn die Sonne im Zenith steht. Allmälig wird die Zeit des Tages, in welcher es regnet, immer kürzer, und gegen Ende der Regenzeit regnet es nur Nachmittags.

Die Dauer der Regenzeit ist in verschiedenen Gegenden nicht dieselbe, sie beträgt 3 bis 5 Monate.

In Ostindien, wo die Regelmäßigkeit der Passatwinde durch örtliche Verhältnisse gestört ist und wo statt ihrer die Moussons wehen, finden wir auch anormale Regenverhältnisse; an der steilen Westküste von Vorderindien fällt die Regenzeit mit der Zeit unseres Sommers zusammen, sie fällt nämlich in die Zeit, zu welcher die Südwestmoussons wehen und, mit Feuchtigkeit beladen, an die hohen Gebirge anstoßen. Während es auf der Küste Malabar regnet, ist auf der Ostküste Coromandel der Himmel heiter; hier stellt sich die Regenzeit mit dem Nordostpassat, also gerade zu der Zeit ein, zu welcher auf der Westküste die trockene Jahreszeit herrscht.

In der Region der Calmen findet man diese periodischen Regen nicht, es finden hier fast täglich heftige Regengüsse Statt. Der aufsteigende Luftstrom führt eine Masse von Wasserdämpfen in die Höhe, welche sich in den kälteren Regionen wieder verdichten. Die Sonne geht fast immer bei heiterem Himmel

auf, gegen Mittag bilden sich einzelne Wolken, welche dichter und dichter werden, bis ihnen endlich, meist unter heftigen Windstößen und elektrischen Entladungen, eine ungeheure Regenmenge entströmt. Gegen Abend zerstreut sich das Gewölk und die Sonne geht wieder bei heiterem Himmel unter.

Die jährliche Regenmenge ist im Allgemeinen in den Tropen sehr groß; sie beträgt z. B. in Bombay 73,5, in Kandy 68,9, in Sierra Leone 80,9, zu Rio Janeiro 55,6, auf St. Domingo 100,9, zu Havanna 85,7 und in Granada 105 Pariser Zoll. Bedenkt man nun, daß der Regen meist nur auf wenige Monate vertheilt ist und daß es nur an wenigen Stunden des Tages regnet, so ist es klar, daß der Regen sehr stark sein muß. In Bombay fielen an einem Tage 6 Zoll, zu Cayenne in 10 Stunden 10 Zoll Regen. Die Regentropfen sind sehr groß und fallen mit solcher Geschwindigkeit nieder, daß sie auf der nackten Haut ein schmerzhaftes Gefühl erzeugen.

Schnee und Hagel. Ueber die Bildung des Schnees weiß man bis 282
jetzt noch sehr wenig. Wahrscheinlich bestehen die Wolken, in denen sich die Schneeflocken zuerst bilden, nicht aus Dunstbläschen, sondern aus feinen Eisnädelchen, welche durch fortwährende Condensation von Wasserdämpfen größer werden und so Schneeflocken bilden, welche selbst noch beim Herabfallen durch die unteren Luftschichten wachsen. Sind die unteren Luftregionen zu warm, so schmelzen die Schneeflocken, ehe sie den Boden erreichen, es regnet unten, während es oben schneit.

Auf die regelmäßige Gestalt der Schneeflocken, welche man am besten beobachten kann, wenn man sie auf einem dunkeln, unter 0° erkalteten Körper auffängt, hat schon Kepler aufmerksam gemacht. Fig. 607 und Fig. 608 zeigen einige Schneefiguren, welche ich im schneereichen Februar 1855 beobachtet habe.

Schon eine oberflächliche Betrachtung dieser Figuren zeigt, daß sich alle

Fig. 607.

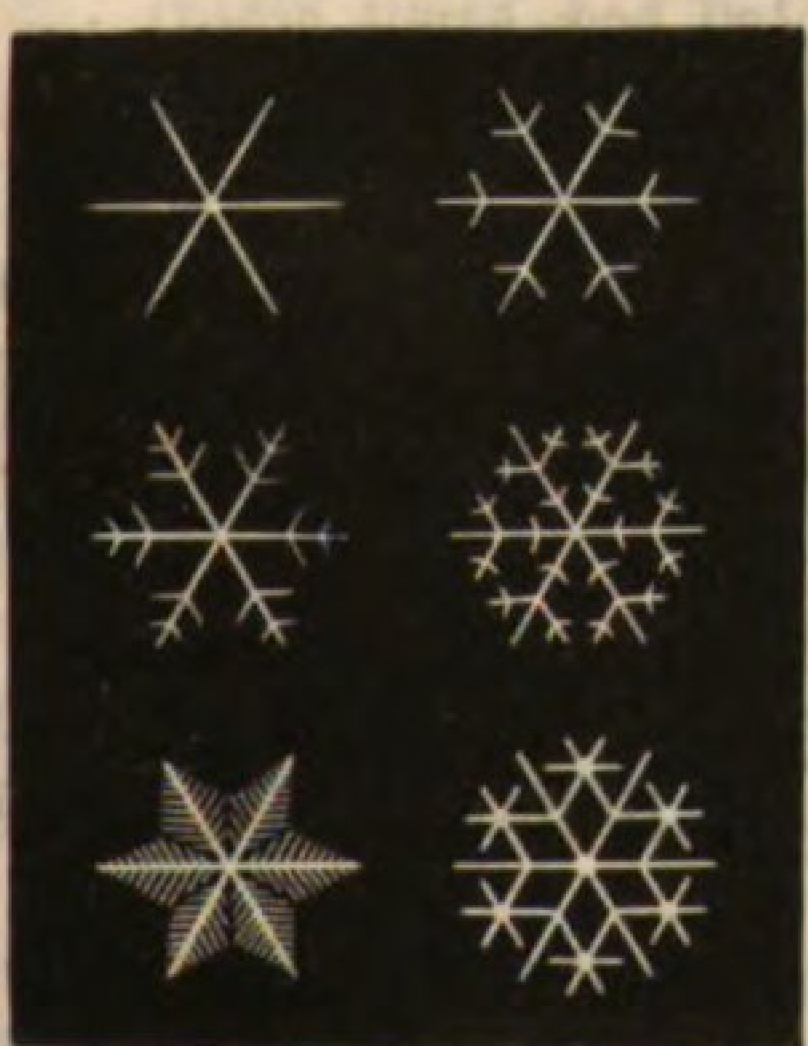


Fig. 608.



diese Gestalten im Wesentlichen auf einen regelmäßigen sechsseitigen Stern zurückführen lassen, wonach denn die Schneeflocken dem hexagonalen Krystallsysteme (dem Krystallsysteme des Bergkrystalls) angehören.

Der **Graupelregen**, den man gewöhnlich im März und im April beobachtet, entsteht auf ähnliche Art wie der Schnee; die Graupelkörner bestehen aus ziemlich fest zusammengeballten Eisnädelchen.

Der **Hagel** ist eine der furchtbarsten Geißeln für den Landmann und eins der schwierigsten Phänomene für den Meteorologen.

Die gewöhnliche Größe der Hagelkörner ist die einer Haselnuß, sehr häufig fallen kleinere, sie werden aber als weniger gefährlich nicht sonderlich beachtet, oft sind sie aber auch noch weit größer und zerschmettern dann Alles, was sie treffen.

Glaubhafte Naturforscher haben Hagelkörner beobachtet, welche 24 bis 26 Loth wogen.

Die Form der Hagelkörner ist sehr verschieden. In der Regel sind sie abgerundet, manchmal aber auch abgeplattet oder eckig. In der Mitte der Hagelkörner befindet sich in der Regel ein undurchsichtiger Kern, welcher den Graupelkörnern gleicht; dieser Kern ist mit einer durchsichtigen Eismasse umgeben, in welcher sich manchmal einzelne concentrische Schichten unterscheiden lassen; bisweilen beobachtet man abwechselnd durchsichtige und undurchsichtige Eisschichten, endlich hat man auch schon Hagelkörner mit strahliger Structur beobachtet.

Pouillet fand, daß die Temperatur der Hagelkörner — 0,5 bis — 4° beträgt.

Der Hagel geht gewöhnlich den Gewitterregen voran, oder er begleitet sie. Nie, oder wenigstens fast nie, folgt der Hagel auf den Regen, namentlich wenn der Regen einige Zeit gedauert hat.

Das Hagelwetter dauert meistens nur einige Minuten, selten dauert es $^1/_4$ Stunde lang. Die Menge des Eises, welches in so kurzer Zeit den Wolken entströmt, ist ungeheuer, die Erde ist manchmal Zoll hoch damit bedeckt.

Der Hagel fällt häufiger bei Tag als bei Nacht. Die Wolken, welche ihn bringen, scheinen eine bedeutende Ausdehnung und eine bedeutende Tiefe zu haben, denn sie verbreiten in der Regel eine große Dunkelheit. Man glaubt bemerkt zu haben, daß sie eine eigenthümliche grauröthliche Farbe besitzen, daß an ihrer unteren Gränze große Wolkenmassen herabhängen und daß ihre Ränder vielfach zerrissen erscheinen.

Die Hagelwolken scheinen meistens sehr niedrig zu schweben. Die Bergbewohner sehen öfters unter sich Wolken, welche die Thäler mit Hagel überschütten; ob jedoch die Hagelwolken immer so tief ziehen, läßt sich nicht mit Sicherheit ausmachen.

Einige Augenblicke vor dem Beginne des Hagelwetters hört man ein eigenthümliches, rasselndes Geräusch. Endlich ist der Hagel stets von elektrischen Erscheinungen begleitet.

Was die Erklärung des Hagels betrifft, so bietet sie zwei Schwierigkei-

ten; nämlich woher die große Kälte kommt, welche das Wasser gefrieren macht, und dann, wie es möglich ist, daß die Hagelkörner, wenn sie einmal so groß geworden sind, daß sie eigentlich durch ihr Gewicht herabfallen müßten, noch so lange in der Luft bleiben, daß sie zu einer so bedeutenden Masse erwachsen können.

Was die erste Frage betrifft, so meinte Volta, daß die Sonnenstrahlen an der oberen Gränze der dichten Wolke fast vollständig absorbirt würden, was eine rasche Verdunstung zur Folge haben müsse, namentlich wenn die Luft über den Wolken sehr trocken ist; durch diese Verdunstung sollte nun so viel Wärme gebunden werden, daß das Wasser in den tieferen Wolkenschichten gefriert. Wenn aber die Verdunstung des Wassers in den oberen Wolkenschichten durch die Wärme der Sonnenstrahlen veranlaßt wird, so ist nicht einzusehen, warum durch diese Verdunstung den tieferen Wolkenschichten so viel Wärme entzogen werden soll.

In Beziehung auf die zweite Frage schlug Volta eine in der That geistreiche Theorie vor, welche auch eine große Celebrität erlangt hat; er nimmt an, daß zwei mächtige, mit entgegengesetzter Elektricität geladene Wolkenschichten über einander schweben. Wenn nun die noch sehr kleinen Hagelkörner auf die untere Wolke fallen, so werden sie bis zu einer gewissen Tiefe eindringen und sich mit einer neuen Eisschicht umgeben; sie werden sich aber auch mit der Elektricität der unteren Wolke laden und von dieser zurückgestoßen, während die obere sie anzieht; sie steigen also trotz ihrer Schwere wieder zur oberen Wolke in die Höhe, wo sich derselbe Vorgang wiederholt; so fahren sie eine Zeit lang zwischen den beiden Wolken hin und her, bis sie endlich herabfallen, wenn sie zu schwer werden und die Wolken ihre Elektricität verlieren.

Auch dieser Theil der Volta'schen Theorie ist sehr unwahrscheinlich. Um ein solches Tanzen der Hagelkörner zwischen zwei Wolken zu bewirken, müßten sie eine enorm starke elektrische Ladung haben, die sich aber durch die Vermittelung der Hagelkörner so schnell verlieren müßte, daß diesen keine Zeit bliebe, zu einer namhaften Größe anzuwachsen.

Viel wahrscheinlicher ist dagegen die fast gleichzeitig von Fr. Vogel und K. Nöllner aufgestellte Hageltheorie. Nach dieser Theorie kann der Bläschendampf, welcher die Wolken bildet, ebenfalls weit unter den Schmelzpunkt des Eises erkalten, ohne daß ein Erstarren eintritt, wie man dies beim tropfbar flüssigen Wasser beobachtet (Seite 532). Wenn nun aus einer höheren Wolkenschicht Graupelkörner durch eine in diesem Zustande befindliche Wolke herabfallen, so muß sich auf ihnen Wasser niederschlagen, welches augenblicklich erstarrt. Bei niedriger Temperatur der Wolke kann auf diese Art in ganz kurzer Zeit eine massenhafte Eisbildung stattfinden.

Viertes Capitel.

Optische Erscheinungen der Atmosphäre.

283 **Farbe des Himmels.** Der heitere Himmel erscheint uns blau, und zwar ist dieses Blau, je nach dem Zustande der Atmosphäre, bald heller und weißlicher, bald dunkler; auf hohen Bergen erscheint der Himmel sehr dunkelblau, ja fast schwarz. Es ist dies leicht zu erklären; wenn die Luft absolut durchsichtig wäre, wenn die einzelnen Lufttheilchen gar kein Licht reflectirten oder vielmehr zerstreuten, so müßte uns der Himmel vollkommen schwarz erscheinen, die Sonne, der Mond, die Sterne würden glänzend auf dem schwarzen Grunde stehen; nun aber reflectiren die Lufttheilchen das Licht, und so kommt es, daß bei Tage der ganze Himmel hell erscheint, weil die von der Sonne erleuchteten Lufttheilchen das Licht nach allen Seiten hin zerstreuen. Diese Erleuchtung der Atmosphäre durch die Sonnenstrahlen ist die Ursache, daß wir die Sterne bei Tage nicht sehen können. Die Lufttheilchen reflectiren vorzugsweise das blaue Licht, und deshalb erscheint uns der an und für sich dunkle Himmelsraum mit Blau überzogen. Je höher wir uns in die Atmosphäre erheben, desto dünner wird dieser blaue Ueberzug und desto dunkler wird uns also auch der Himmel erscheinen; so erscheint auch im Zenith der Himmel stets am dunkelsten blau und gegen den Horizont mehr weißlich.

Das reine Blau des Himmels wird besonders durch die in der Luft schwebenden condensirten Wasserdämpfe gebleicht, durch feine Nebel, welche oft den Himmel mit einem leichten Schleier überziehen, ohne doch schon dicht genug zu sein, um als Wolken zu erscheinen.

Die Erscheinungen der Abend- und Morgenröthe wurden dadurch erklärt, daß man sagte, die Luft lasse vorzugsweise die rothen und gelben Strahlen durch, sie reflectire aber die blauen; des Abends und des Morgens haben aber die Sonnenstrahlen einen sehr weiten Weg durch die Atmosphäre zurückzulegen,

daher die rothe Färbung der durchgelassenen Strahlen, welche besonders brillant ist, wenn Wolken durch diese Strahlen beleuchtet werden.

Diese Meinung kann nicht ganz richtig sein, indem das Blau des Himmels durchaus nicht die complementäre Farbe des Abendrothes ist. Das Abendroth rührt wahrscheinlich von dem in der Luft enthaltenen Wasserdampfe her.

Wenn aus dem Sicherheitsventile einer Dampfmaschine, etwa einer Locomotive, eine Dampfsäule aufsteigt, so erblickt man durch dieselbe die Sonne tief orangeroth gefärbt. Nahe über dem Sicherheitsventile, zu welchem der Dampf herausbläst, ist dessen Farbe für durchgehendes Licht das erwähnte tiefe Orangeroth; in größerer Entfernung jedoch, wo der Dampf vollständiger verdichtet ist, hört die Erscheinung gänzlich auf. Selbst bei mäßiger Dicke ist die Dampfwolke durchaus undurchdringlich für die Sonnenstrahlen, sie wirft einen Schatten wie ein fester Körper; und wenn ihre Dicke gering ist, so ist sie zwar durchscheinend, aber durchaus farblos. Die Orangefarbe des Dampfes scheint also einer besonderen Stufe der Verdichtung anzugehören. Bei vollkommener Gasgestalt ist der Wasserdampf ganz durchsichtig und farblos; in jenem Uebergangszustande ist er durchsichtig und rauchroth; wenn er aber vollständig zu Nebelbläschen verdichtet ist, so ist er bei geringer Dicke durchscheinend und farblos, bei großer Dicke vollkommen undurchsichtig.

Als reine, farblose, elastische Flüssigkeit giebt der Wasserdampf der Luft ihre größte Durchsichtigkeit, wie man sie besonders beobachtet, wenn sich nach einem heftigen Regen der Himmel wieder aufhellt. Im Uebergangszustande läßt er die gelben und rothen Strahlen durch und bringt in diesem Zustande die Erscheinungen der Abendröthe hervor.

Diese Theorie erklärt auch sehr gut, daß das Abendroth weit brillanter ist als das Morgenroth, daß Abendroth und Morgengrau die Anzeigen schönen Wetters sind. Gleich nach dem Temperaturmaximum des Tages und vor Sonnenuntergang fangen der Boden und die Luftschichten in verschiedener Höhe an, Wärme durch Strahlung zu verlieren. Bevor sich aber in Folge dessen der Wasserdampf vollständig verdichtet, durchläuft er jenen Uebergangszustand, welcher die Abendröthe erzeugt. Des Morgens ist es anders. Die Dämpfe, welche bei Umkehrung des Processes wahrscheinlich das Roth erzeugt haben würden, steigen nicht eher auf, als bis die Wirkung der Sonne schon lange angehalten hat; alsdann ist aber die Zeit des Sonnenaufganges vorüber, die Sonne steht schon hoch am Himmel. Das feurige Ansehen des Morgenhimmels rührt von der Anwesenheit eines solchen Ueberschusses von Feuchtigkeit her, daß durch die Verdichtung in höheren Regionen wirklich Wolken entstehen, im Gegensatze mit der Tendenz der steigenden Sonne, sie zu zerstreuen; das Morgenroth ist deshalb als Vorbote baldigen Regens zu betrachten.

Wenn die Sonne am westlichen Horizonte verschwunden ist, so tritt nicht plötzlich die Dunkelheit ein, sondern eine Dämmerung, welche nach Umständen bald längere, bald kürzere Zeit dauert. Diese Dämmerung rührt daher, daß die Luft am westlichen Himmel und die in ihr schwebenden Wassertheilchen noch von der Sonne beschienen werden, nachdem dieselbe unseren Blicken schon verschwun-

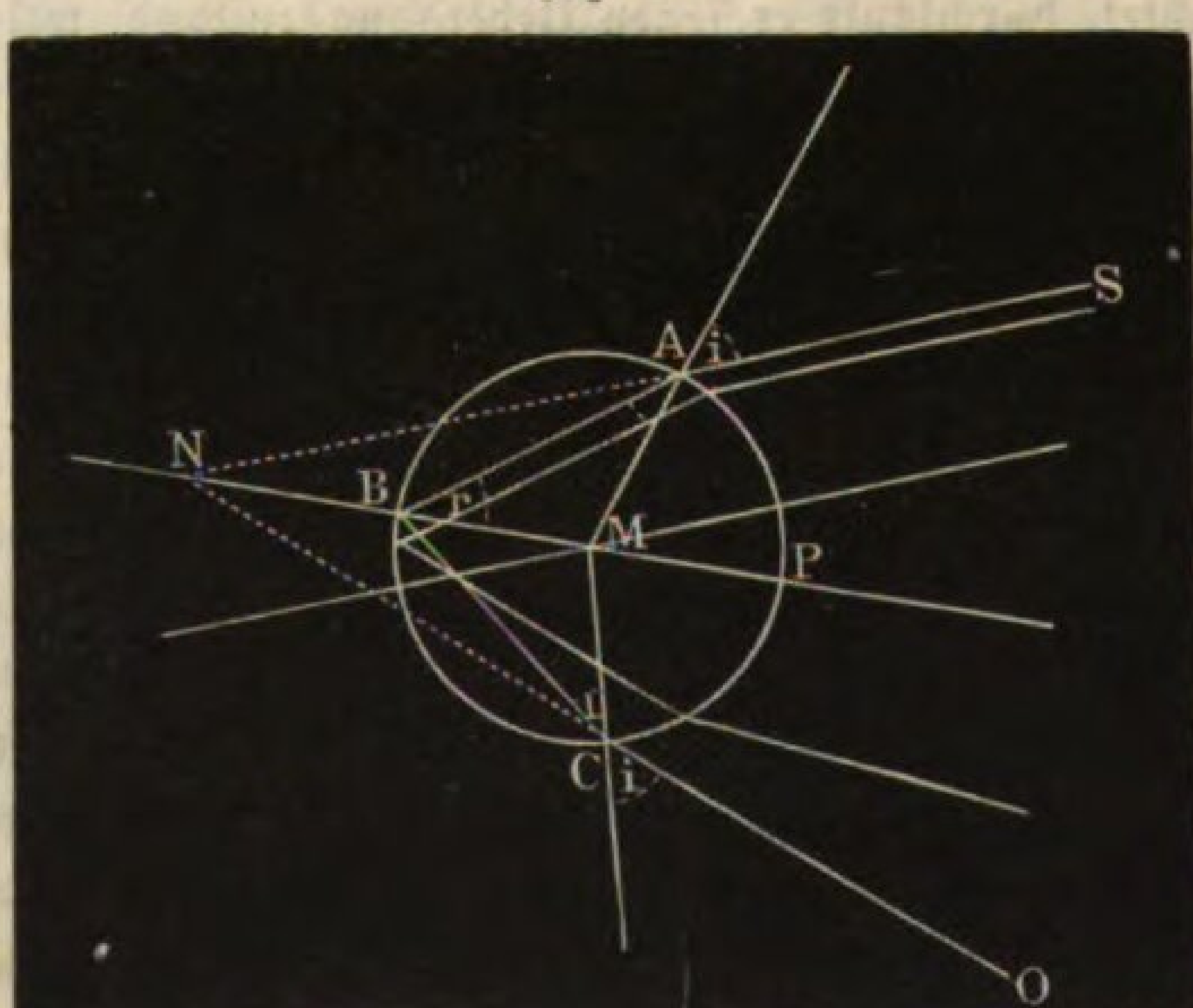
den ist, und daß diese erleuchteten Luft- und Wassertheilchen uns noch ein allmälig mehr und mehr abnehmendes Licht zusenden. In unseren Gegenden dauert die Dämmerung ungefähr, bis die Sonne 18° unter dem Horizonte ist. Die längere Dauer der Dämmerung in höheren Breiten rührt besonders daher, daß die Sonnenbahn dort sehr stark geneigt ist und daß es deshalb sehr lange dauert, bis sie 18° unter dem Horizonte steht. Je mehr wir uns dem Aequator nähern, desto weniger schräg ist die tägliche Sonnenbahn gegen den Horizont; unter dem Aequator selbst macht sie einen rechten Winkel mit demselben; mit der Annäherung gegen den Aequator nimmt deshalb die Dauer der Dämmerung ab; in Chili dauert sie ungefähr $^1/_4$ Stunde, in Cumana nur einige Minuten. Diese so sehr kurze Dauer der Dämmerung läßt sich nicht allein durch die Richtung der Sonnenbahn gegen den Horizont erklären, sie hat zum Theil auch in der außerordentlichen Reinheit des Himmels ihren Grund; denn in unseren Gegenden tragen die zarten, hoch in der Luft schwebenden Nebel, welche bei Tage den Himmel mit einem Schleier überziehen, die Lichtstrahlen aber stark reflectiren, sehr zur Verlängerung der Dämmerung bei.

284 **Der Regenbogen.** Es ist allgemein bekannt, daß man einen Regenbogen sieht, wenn man eine regnende Wolke vor sich und die Sonne im Rücken hat. Der Regenbogen bildet gleichsam die Basis eines Kegels, dessen Spitze das Auge bildet und dessen Axe mit der geraden Linie zusammenfällt, welche man durch die Sonne und das Auge legen kann. Unter den eben angegebenen Bedingungen erscheint auch der Regenbogen in dem Staubregen der Wasserfälle und Springbrunnen.

Um den Regenbogen zu erklären, muß man den Weg der Sonnenstrahlen durch die Regentropfen verfolgen.

Wenn ein Sonnenstrahl *SA*, Fig. 609, einen Regentropfen trifft, so wird er gebrochen, und es ist leicht, die Richtung des gebrochenen Strahles *AB* zu berechnen oder zu construiren. Der gebrochene Strahl *AB* wird in *B* an der Rückwand des Tropfens nach *C* gespiegelt und tritt dann nach einer zweiten Brechung in der Richtung *CO* aus. Der austretende Strahl *CO* macht mit dem einfallenden einen Winkel *SNO*.

Fig. 609.



Es fallen aber parallel mit *SA* noch viele andere Sonnenstrahlen auf den Tropfen, und wenn man für einige derselben den Weg

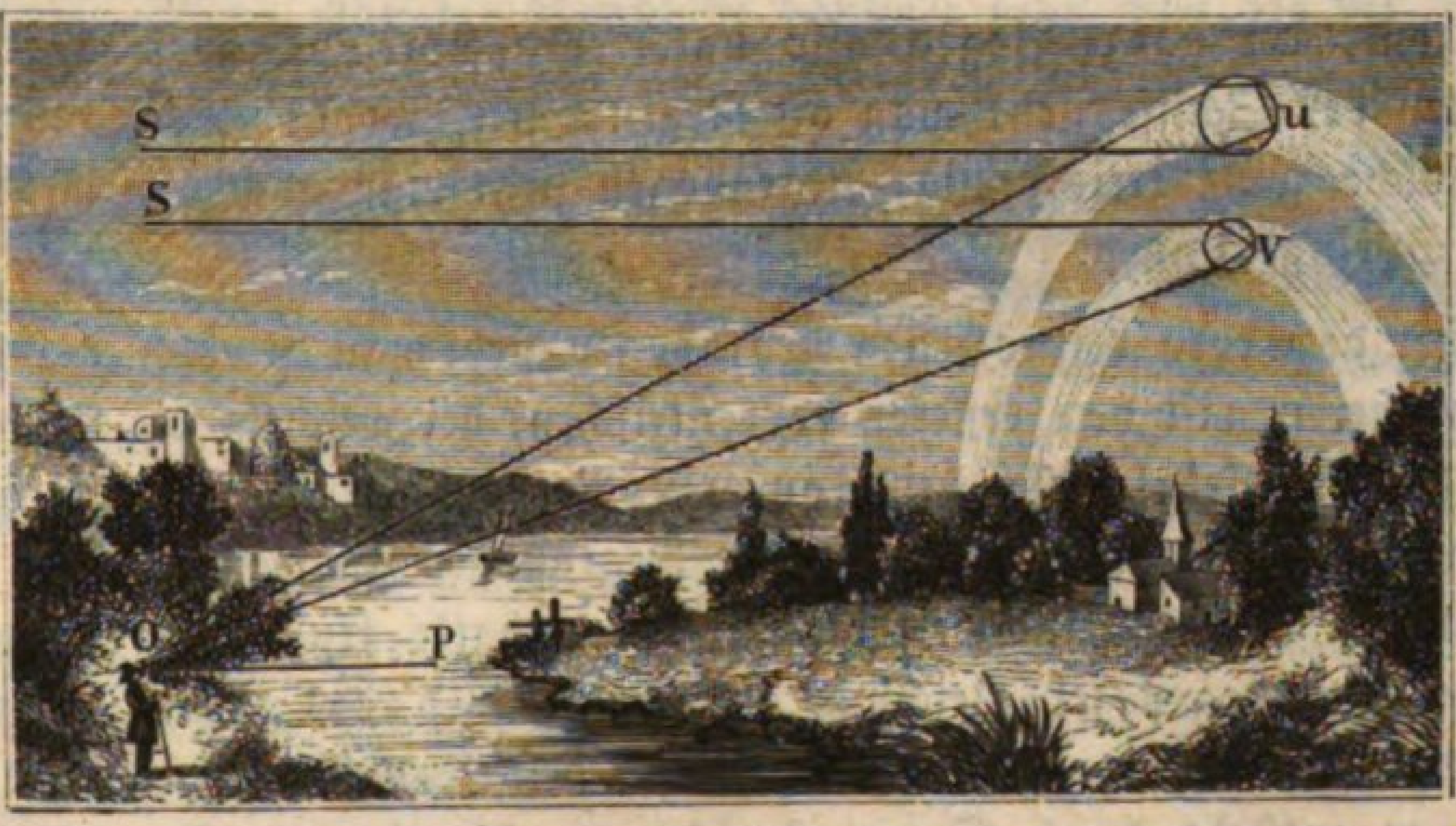
durch den Tropfen berechnet oder construirt, wie dies in unserer Figur noch für einen zweiten geschehen ist, so ergiebt sich, daß die austretenden Strahlen nicht unter einander parallel sind.

Während also ein paralleles Lichtbündel auf den Tropfen trifft; tritt ein stark divergirendes Strahlenbündel aus dem Tropfen aus. Es ist begreiflich, daß durch diese Divergenz der aus dem Tropfen kommenden Strahlen die Stärke des Lichteindruckes, den sie hervorbringen, ganz außerordentlich geschwächt wird, namentlich, wenn die Tropfen in einer nur etwas bedeutenden Entfernung vom Auge sich befinden. Unter allen aus dem Tropfen nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung ins Auge kommenden Strahlen können demnach nur diejenigen einen merklichen Lichteindruck machen, für welche diese Divergenz ein Minimum ist, oder mit anderen Worten, nur diejenigen, welche sehr nahe parallel austreten.

Bei genauerer Untersuchung ergiebt sich, daß eine ziemliche Menge parallel einfallender Strahlen den Tropfen fast in derselben Richtung verläßt, und zwar diejenigen, für welche der Winkel SNO nahe 42° 30′ ist; diese Strahlen werden unter allen aus dem Tropfen kommenden allein einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können.

Denkt man sich durch die Sonne und das Auge des Beobachters eine gerade Linie OP, Fig. 610, gezogen, und durch dieselbe eine Verticalebene gelegt; zieht man ferner durch O eine Linie OV so, daß der Winkel $POV = 42° 30′$

Fig. 610.



so werden nach dieser Richtung hin sich befindende Regentropfen nach einmaliger innerer Spiegelung wirksame Strahlen ins Auge senden. Jedoch nicht allein in dieser Richtung empfängt das Auge wirksame Strahlen, sondern, wie leicht begreiflich, von allen Regentropfen, die in der Kegeloberfläche liegen, welche durch Umdrehung der Linie OV um die Axe OP entsteht; das Auge wird also einen lichten Kreis sehen, dessen Mittelpunkt auf der von der Sonne durch das Auge gezogenen Geraden liegt und dessen Halbmesser unter einem Winkel von 42° 30′ erscheint.

In der erwähnten Richtung sieht man einen Kreis, der als ein rother Ring von 30′ Breite erscheint, weil die Sonne nicht ein Punkt, sondern eine Scheibe ist, die den scheinbaren Durchmesser 30′ hat. Die wirksamen violetten Strahlen treten aber nach einer Richtung aus, welche einen Winkel von 40° 30′ mit den einfallenden Strahlen macht, das Auge erblickt also einen violetten Ring von 30′ Breite, dessen Radius nur 40° 30′ beträgt. Zwischen diesen äußersten Bogen erscheinen die der übrigen prismatischen Farben, und so bildet also gewissermaßen der Regenbogen ein zu einem kreisförmigen Bogen ausgedehntes Spectrum. Die ganze Breite des Regenbogens beträgt ungefähr 2°, da ja der Halbmesser des rothen Bogens um 2° größer ist, als der des violetten.

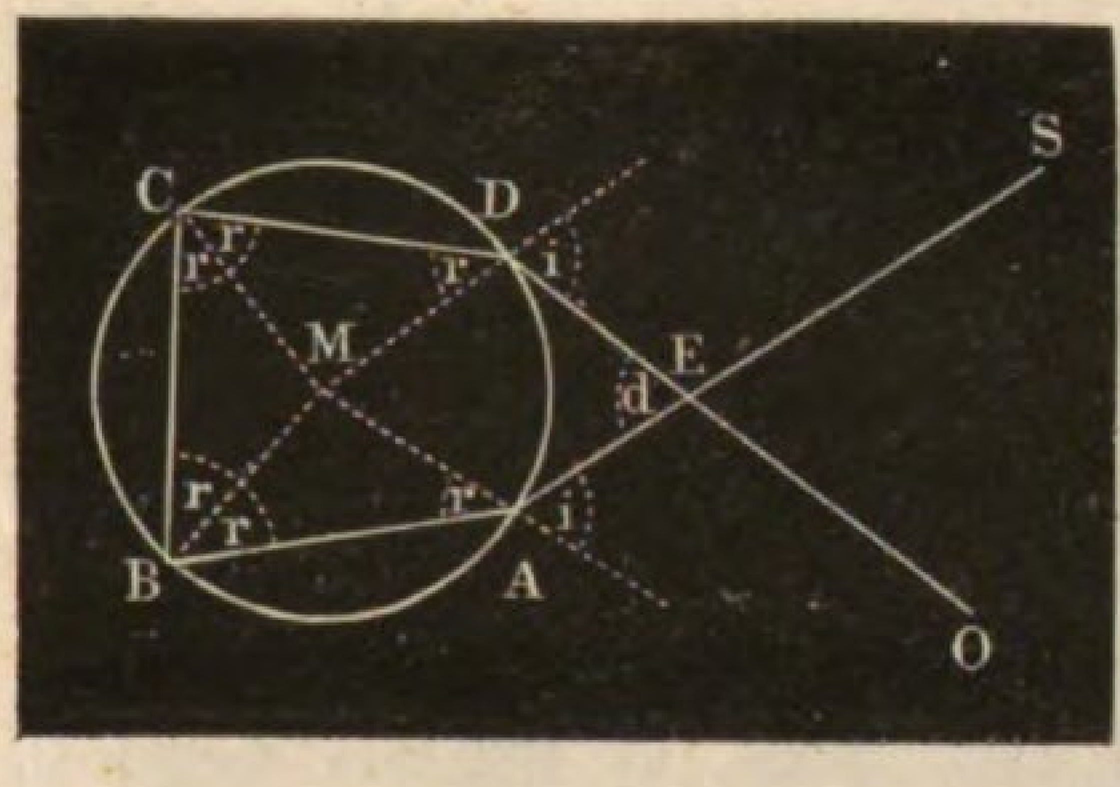
Was die Ausdehnung des farbigen Bogens betrifft, so hängt sie offenbar von der Höhe der Sonne über dem Horizonte ab. Wenn die Sonne eben untergeht, erscheint der Regenbogen im Osten, der Mittelpunkt des Bogens liegt dann gerade im Horizont, weil die durch die Sonne und das Auge gezogene Linie eine horizontale ist; wenn der Beobachter bei Sonnenuntergang in der Ebene steht, so bildet der Regenbogen gerade einen Halbkreis; man kann aber mehr als einen Halbkreis übersehen, wenn man auf einer isolirten Bergspitze von geringer Breite steht. Bei Sonnenaufgang erscheint der Regenbogen im Westen. Je höher die Sonne steht, desto tiefer liegt der Mittelpunkt des farbigen Bogens unter dem Horizonte, desto kleiner ist also das dem Auge sichtbare Bogenstück. Wenn die Sonne 42° 30′ hoch steht, ist für einen in der Ebene stehenden Beobachter gar kein Regenbogen mehr sichtbar, weil alsdann der Gipfel desselben gerade in den Horizont, der ganze Bogen also unter den Horizont fallen würde. Von den Masten der Schiffe sieht man oft Regenbogen, welche einen ganzen Kreis bilden; solche ganz kreisförmige Regenbogen sieht man auch oft an Wasserfällen und Springbrunnen.

Außer dem eben besprochenen Regenbogen sieht man gewöhnlich noch einen zweiten größeren, mit dem ersteren concentrischen, bei welchem die Ordnung der Farben die umgekehrte ist; beim äußeren Regenbogen ist nämlich das Roth innen, das Violett außen. Der äußere Regenbogen ist weit weniger lichtstark als der innere, er erscheint weit blasser. Man hatte früher die irrige Ansicht, der zweite Regenbogen sei gleichsam ein Spiegelbild des ersten. Die Entstehung des äußeren Regenbogens beruht auf denselben Principien wie die des inneren; er entsteht durch Sonnenstrahlen, welche in den Regentropfen eine zweimalige Brechung und eine *zweimalige innere Reflexion* erlitten haben.

In Fig. 611 ist der Gang eines Lichtstrahles dargestellt, welchen derselbe im Regentropfen nimmt, um ihn nach zweimaliger innerer Spiegelung zu verlassen. SA ist der einfallende Sonnenstrahl, welcher nach AB gebrochen, dann in B und C gespiegelt wird und bei D in der Richtung DO wieder austritt. In diesem Falle schneiden sich der einfallende und der austretende Strahl und bilden einen Winkel d mit einander, dessen Größe ver-

änderlich ist, je nachdem der einfallende Strahl den Tropfen an einer anderen Stelle, also unter einem anderen Einfallswinkel trifft.

Fig. 611.



In diesem Falle machen die wirksam austretenden rothen Strahlen einen Winkel von 50°, die wirksam austretenden violetten Strahlen machen einen Winkel von $53\frac{1}{2}$° mit dem einfallenden; das Auge erblickt also eine Reihe concentrischer farbiger Ringe, deren innerster roth ist und 50° Halbmesser hat, während der äußere violette Ring einen Halbmesser von $53\frac{1}{2}$° hat.

Der äußere Regenbogen ist blasser, weil er durch Strahlen gebildet wird, welche eine zweimalige innere Spiegelung erlitten haben, da das Licht bei jeder Spiegelung eine Schwächung erleidet. Man würde noch einen dritten und einen vierten Regenbogen sehen können, welche durch Strahlen gebildet werden, die eine dreimalige und eine viermalige innere Spiegelung erlitten haben, wenn diese Strahlen nicht zu lichtschwach wären.

Höfe und Nebensonnen. Oft sieht man, wenn der Himmel mit 285
einem leichten Wolkenschleier überzogen ist, dicht um die Sonne und den Mond farbige Ringe. Meist sieht man diese Ringe nicht vollständig, sondern nur stückweise. Wenn man die Mondhöfe häufiger beobachtet als die Sonnenhöfe, so liegt der Grund darin, daß das Licht der Sonne zu blendend ist; man sieht aber diese auch, sobald man das Bild der Sonne in ruhigem Wasser oder in einem auf der Rückseite geschwärzten Spiegel betrachtet.

Diese Höfe haben die größte Aehnlichkeit mit der Glorie, welche man um eine Kerzenflamme sieht, wenn man sie durch eine mit semen lycopodii bestreute Glasplatte betrachtet, und sicherlich sind die Höfe ebenso wie dieses Phänomen zu den Interferenzerscheinungen zu zählen; die Dunstbläschen vertreten die Stelle der feinen Staubtheilchen.

Bisweilen sieht man auch noch zwei größere farbige Kreise um die Sonne und den Mond, welche mit den Höfen nicht zu verwechseln sind; der Halbmesser des kleineren dieser hellen Ringe erscheint unter einem Winkel von 22 bis 23°, der des größeren aber unter einem Winkel von 46 bis 47°; das Roth ist bei denselben nach innen gekehrt, der innere Rand ist schärfer, der äußere mehr verschwommen und weniger deutlich gefärbt. Selten erscheinen die beiden Kreise zu gleicher Zeit. Fig. 612 (a. f. S.) stellt die Erscheinung dar, wie man sie wohl am häufigsten zu beobachten die Gelegenheit hat; es ist nämlich der kleinere Ring von 22 bis 23° Radius; er ist durch einen horizontalen lichten Streifen durchschnitten, welcher sich oft bis zur Sonne selbst erstreckt. Da, wo dieser Streifen den Lichtring durchschneidet, ist er am hellsten; diese hellen Stellen, welche man zu beiden Seiten der Sonne am äußeren Umfange des Ringes

sieht, sind die Nebensonnen; bisweilen erscheint eine solche Nebensonne auch vertical über der Sonne im Gipfel des Ringes; oft erscheint hier aber auch

Fig. 612.



ein Berührungsbogen, wie er in Fig. 612 dargestellt ist. Oft sieht man die Nebensonnen auch ohne die Ringe, oder die Ringe ohne die Nebensonnen. Die Ringe und die Nebensonnen erscheinen ebenfalls nie bei ganz heiterem Himmel, sondern nur wenn derselbe mit einem Schleier überzogen ist.

Man hat die erwähnten Ringe durch eine Brechung des Lichtes in den in der Luft schwebenden Eisnadeln erklärt; wenn die Eisnadeln sechsseitige Säulen sind, so bilden immer je zwei nicht parallele und nicht zusammenhängende Seitenflächen einen Winkel von 60° mit einander, die Eisnadeln bilden also gewissermaßen gleichseitige, dreiseitige Prismen, für welche das Minimum der Ablenkung ungefähr 23° beträgt. Solche Strahlen nun, welche in den Eisnadeln das Minimum der Ablenkung erlitten haben, sind den wirksamen Strahlen des Regenbogens analog, weil viele Strahlen sehr nahe in derselben Richtung austreten. Diese Hypothese erklärt also zugleich die Bildung des Ringes, seine Größe und die Anordnung der Farben, welche übrigens sehr blaß und beim Mondlicht ganz unmerklich sind.

Der Ring von 46° erklärt sich durch die Annahme, daß die Axe der Prismen in der Weise schief steht, daß der rechte Winkel, welchen die Seitenflächen der Säule mit der Basis bilden, der brechende Winkel des Prismas wird. Für ein Eisprisma, dessen brechender Winkel 90° beträgt, ist in der That das Minimum der Ablenkung 46°.

Die Nebensonnenstreifen erklärt man durch die Reflexion der Sonnen-

strahlen an den verticalen Flächen der Eisnadeln; er ist da am hellsten, wo er den Ring von 23° durchschneidet, weil hier zwei Ursachen stärkerer Erleuchtung zusammenwirken.

Irrlichter nennt man gewöhnlich kleine Flämmchen, welche in sumpfi- 286
gen Gegenden, Mooren, Kirchhöfen u. s. w., kurz an Orten, wo Fäulniß und Verwesung vor sich gehen, nicht hoch über dem Boden zum Vorschein kommen, eine hüpfende unruhige Bewegung zeigen und bald wieder verschwinden. Während man gewöhnlich von den Irrlichtern als von einer ganz bekannten und erklärten Erscheinung redet, so herrscht doch über dieses Phänomen noch große Ungewißheit, indem nicht einmal das Thatsächliche selbst genügend ermittelt ist, was einestheils daher rührt, daß die Irrlichter sehr selten sind und daß die meisten Personen, welche solche sahen, nicht immer im Stande waren, genau zu beobachten und das Gesehene vorurtheilsfrei zu erzählen.

Volta meinte, die Irrlichter beständen aus Sumpfgas (Kohlenwasserstoffgas), welches durch einen elektrischen Funken entzündet würde. Aber woher soll der elektrische Funken kommen? Andere meinen, es sei Phosphorwasserstoffgas, welches sich entzündet, sobald es mit der atmosphärischen Luft in Berührung kommt; alsdann aber würde man einen momentanen, von einer Verpuffung begleiteten Lichtblitz und nicht ein länger anhaltendes mattes Licht beobachten. Die wahrscheinlichste Ansicht ist noch die, daß die Irrlichter durch ein phosphorhaltiges Wasserstoffgas erzeugt würden, welches nicht eigentlich als Flamme verbrennt, sondern nur schwach phosphorescirt.

Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine. Eine allge- 287
mein bekannte Erscheinung, welche deshalb auch keiner weiteren Beschreibung bedarf, sind die Sternschnuppen. Durch correspondirende Beobachtungen hat man ermittelt, daß die Höhe der Sternschnuppen 34 bis 35 Meilen beträgt, und daß sie sich mit einer Geschwindigkeit von 4 bis 8 Meilen in der Secunde bewegen.

Eine höchst merkwürdige Erscheinung sind die periodisch wiederkehrenden Sternschnuppenschwärme, welche man in der Zeit vom 12. bis 14. November und am 10. August (dem Feste des heiligen Laurentius) beobachtet; das letzte Phänomen wird in England schon in einem alten Kirchenkalender, unter dem Namen der feurigen Thränen des heiligen Laurentius, als eine wiederkehrende Erscheinung erwähnt. Einer der bedeutendsten Sternschnuppenschwärme wurde den 12. bis 13. November 1833 in Nordamerika beobachtet, wo die Sternschnuppen fast wie Schneeflocken zusammengedrängt erschienen, so daß innerhalb 9 Stunden 240000 fielen.

Die Feuerkugeln scheinen mit den Sternschnuppen gleichen Ursprunges und gleicher Natur zu sein und sich nur durch die Größe der Erscheinung von ihnen zu unterscheiden. Bei den großen Sternschnuppenschwärmen sah man Feuerkugeln unter den Sternschnuppen.

Die Feuerkugeln zerplatzen unter großem Getöse und lassen dann Stein-

massen herabfallen, welche unter dem Namen der Meteorsteine oder der Aërolithen bekannt sind. Auch bei Tage hat man solche Meteorsteine aus kleinen graulichten Wolken ebenfalls unter starkem Getöse herabfallen sehen.

Die frisch gefallenen Meteorsteine sind noch heiß und in Folge der Geschwindigkeit des Fallens mehr oder minder tief in den Boden eingedrungen.

Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts war man sehr geneigt, das Herabfallen von Steinmassen aus der Luft für ein Märchen zu erklären; seitdem aber haben sich Meteorsteinfälle ereignet, welche von mehreren Personen beobachtet und durch sachkundige Männer gehörig constatirt wurden. Dahin gehört besonders der Meteorsteinfall am 26. April 1803 bei Aigle im Departement de l'Orne, welchen Biot untersuchte, und der am 22. Mai 1808 zu Stannern in Mähren. Am 13. November 1835 (also zur Zeit der Sternschnuppenperiode) wurde im Departement Ain durch einen Aërolithen ein Haus angezündet.

Die Meteorsteine haben eine eigenthümliche Physiognomie, wodurch sie sich von allen irdischen Fossilien unterscheiden, dennoch aber sind sie unter einander wieder so verschieden, daß Chladni, welcher sich so viel mit diesem Gegenstande beschäftigte, es für schwierig hielt, einen allgemeinen Charakter anzugeben; besonders charakteristisch ist aber doch wohl der Gehalt an gediegenem Eisen, und eine pechartig glänzende, zuweilen geäderte Rinde, welche fast nie fehlt. Eine weitere Beschreibung würde uns zu tief in mineralogische Details führen.

Man hat an verschiedenen Orten Steinmassen auf dem Boden gefunden, welche dem Gebirgssystem jener Gegenden ganz fremd sind, aber mit notorischen Meteorsteinen die größte Aehnlichkeit haben, und ist deshalb berechtigt, auch diese für Aërolithen zu halten.

Die Masse der Meteorsteine ist oft sehr groß, man hat deren gefunden, welche mehrere Pfunde bis 400 Centner wogen.

Es ist kaum mehr zu bezweifeln, daß die Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine kosmischen Ursprungs, daß sie höchst wahrscheinlich Massen sind, welche wie die Planeten um die Sonne kreisen und, in die Anziehungssphäre der Erde gerathen, herabfallen. Die Feuer- und Lichterscheinung erklärt sich am einfachsten durch die Annahme, daß diese kleinen Weltkörper mit einer Atmosphäre brennbarer Gase umgeben sind, welche sich beim Eintritte in die sauerstoffhaltige Atmosphäre der Erde entzündet. Wenn man annimmt, daß außer unzähligen, einzeln um die Sonne kreisenden Massen der Art ganze Schwärme derselben einen Ring um die Sonne bilden, daß die Ebene eines solchen Ringes an einer bestimmten Stelle die Erdbahn schneidet, so erklären sich dadurch die periodischen Sternschnuppenfälle.

Fünftes Capitel.

Von der atmosphärischen Elektricität und dem Erdmagnetismus.

Erste Entdeckung der atmosphärischen Elektricität. Otto v. Guerike, der berühmte Erfinder der Luftpumpe, war der Erste, welcher eine elektrische Lichterscheinung beobachtete. Wall beobachtete einen lebhafteren Funken und ein stärkeres Geräusch, als er einen großen Harzcylinder rieb, und merkwürdiger Weise wurden die ersten durch Menschenhände hervorgebrachten elektrischen Funken auch sogleich mit dem Blitze verglichen. Dieser Funken und dieses Knacken, sagt Wall, scheinen gewissermaßen den Blitz und den Donner darzustellen. Die Analogie war überraschend; um aber ihre Wahrheit zu beweisen, um in einer so kleinen Erscheinung die Ursache und die Gesetze eines der großartigsten Phänomene der Natur zu erkennen, bedurfte es noch directer Beweise. Während man in Europa darüber hin und her redete, ob wohl der Blitz wirklich ein elektrisches Phänomen sei, wurde in Amerika der experimentelle Beweis geliefert. Nachdem Franklin mehrere elektrische Entdeckungen, besonders über die Leydener Flasche und das Vermögen der Spitzen gemacht hatte, kam er auf den glücklichen Gedanken, die Elektricität in den Gewitterwolken selbst aufzusuchen; er schloß nämlich, daß Metallspitzen, auf hohen Gebäuden aufgestellt, die Elektricität der Wolken aufsaugen müßten. Mit Ungeduld erwartete er die Vollendung eines Glockenthurmes, welcher damals in Philadelphia aufgeführt werden sollte; endlich aber müde zu warten, nahm er zu einem anderen Mittel seine Zuflucht, welches noch sicherere Resultate geben mußte. Da es ja nur darauf ankam, einen Körper hoch genug in die Luft zu erheben, so dachte Franklin, daß ein Drache, ein Spielwerk der Kinder, ihm eben so gut dienen könnte, wie der höchste Thurm. Er benutzte das erste Gewitter, um den Versuch zu machen; nur von einer Person, seinem Sohne, begleitet, weil er fürchtete, sich lächerlich zu machen, 288

wenn der Versuch mißglückte, begab er sich ins Freie und ließ den Drachen steigen. Eine Wolke, welche viel versprach, zog vorüber, ohne irgend eine Wirkung hervorgebracht zu haben; andere zogen vorüber, er bemerkte keinen Funken, kein Anzeichen von Elektricität; endlich fingen die Fasern der Schnur an sich aufzustellen, und es ließ sich ein Geräusch hören. Dadurch ermuthigt, hielt Franklin den Finger gegen das Ende der Schnur, und siehe da, ein Funken sprang über, dem bald noch mehrere andere folgten.

Franklin hat seinen Versuch im Jahre 1752 angestellt, er wurde überall mit demselben Erfolge wiederholt. De Romas zu Nerac war, durch den ersten Gedanken Franklin's geleitet, ebenfalls auf die Idee gekommen, einen Drachen statt der hochgestellten Spitzen anzuwenden. Ohne von Franklin's Resultaten Kunde zu haben, erhielt er im Juni 1753 sehr kräftige Zeichen von Elektricität, weil er die glückliche Idee hatte, in der Schnur ihrer ganzen Länge nach einen feinen Metalldraht anzubringen. Im Jahre 1757 wiederholte de Romas seine Versuche und erhielt Funken von überraschender Größe. »Man denke sich,« sagt er, »Feuerstreifen von 9 bis 10 Fuß Länge und 1 Zoll Dicke, von einem Krachen begleitet, welches eben so stark, ja stärker ist, als ein Pistolenschuß. In weniger als einer Stunde erhielt ich zum mindesten 30 solcher Funken, tausend anderer nicht zu zählen, welche 7 und weniger Fuß lang waren.«

Aller Vorsichtsmaßregeln ungeachtet, welche dieser geschickte Experimentator nahm, wurde er einmal durch die Heftigkeit des Schlages niedergeworfen.

Diese Versuche beweisen vollständig, daß der Blitz nur ein elektrischer Funken ist.

289 **Elektricität während der Gewitter.** Wenn man den elektrischen Zustand der Wolken untersucht, welche nach und nach über den Drachen hinziehen, so erkennt man, daß sie bald mit positiver oder negativer Elektricität geladen sind, bald sich aber auch im natürlichen Zustande befinden. Obgleich wir über die Vertheilung der Elektricität in den Wolken nichts wissen, so ist doch wohl die Anziehung und Abstoßung der ungleich oder gleich elektrisirten Wolken die Ursache der außergewöhnlichen Bewegungen, welche man während der Gewitter am Himmel beobachtet. Während dieser allgemeinen Bewegung der Atmosphäre sieht man Blitze den Himmel durchzucken und hört den Donner rollen. Diese beiden Erscheinungen wollen wir nun näher betrachten.

Manchmal sieht man den Blitz aus einer Wolke hervorbrechen und den Himmel weithin durchfurchen. Wenn man von hohen Bergen herab diese Erscheinung zu seinen Füßen beobachtet, so kann man ihre Ausdehnung besser schätzen; alle Beobachter stimmen darin überein, daß sie unter solchen Umständen Blitze gesehen haben, welche wenigstens eine Meile lang waren. Man weiß auch, daß aus derselben Wolke nach einander mehrere Blitze hervorsprühen. Endlich ist bekannt, daß die Blitze meistens einen Zickzack bilden; diese Form ist dem Blitze und dem elektrischen Funken gemein.

Die Dampfbläschen, welche die Wolken bilden, sind nicht so vollkommene

Leiter als die Metalle, und ohne die Gesetze des Gleichgewichtes und der Vertheilung der Elektricität in unvollkommenen Leitern zu kennen, ist es doch klar, daß sie sich nicht auf einmal so vollständig entladen, daß sie nicht durch einen einzigen Funken in den natürlichen Zustand zurückgeführt werden können; somit erklärt es sich, daß aus einer Wolke mehrere Blitze hervorspringen können.

Die Länge des Blitzes scheint auch eine Folge der unvollkommenen Leitungsfähigkeit der Wolken und der Beweglichkeit der Theilchen zu sein, aus denen sie bestehen. Von dem Conductor der besten Elektrisirmaschine kann man durch trockene Luft hindurch Funken von 3 Fuß Länge erhalten; die Funken werden aber noch länger, wenn man sie über Stoffe von Wolle oder Seide schlagen läßt, welche mit etwas Staub bestreut sind; so müßte man auch durch einen Nebel hindurch längere Funken erhalten, wenn er nicht zu sehr die Spannung der Elektricität verminderte. Um die Länge des Blitzes zu erklären, muß man demnach wohl annehmen, daß auf dem Wege, welchen der Blitz nimmt, die Dampftheilchen schon durch Vertheilung elektrisirt sind, und daß endlich, wenn der Blitz erscheint, sich das gestörte Gleichgewicht von Schicht zu Schicht wieder herstellt, daß gewissermaßen nur Funken von Theilchen zu Theilchen überspringen, daß aber die elektrische Flüssigkeit nicht den ganzen Weg zwischen den weit entfernten Wolken durchläuft.

Der Donner entsteht durch die Vibrationen der gewaltsam erschütterten Luft. Man sieht das Licht gleichzeitig auf der ganzen Bahn des Blitzes, und auf der ganzen Strecke entsteht auch gleichzeitig der Knall; da sich aber der Schall langsamer verbreitet als das Licht, da er in einer Secunde nur 1000 Fuß zurücklegt, so sieht man den Blitz eher als man den Donner hört; ein Beobachter, welcher sich nahe an dem einen Ende der Bahn des Blitzes befindet, wird den in allen Punkten gleichzeitig entstehenden Ton nicht gleichzeitig hören. Nehmen wir an, der Blitz sei 10 000 Fuß lang und der Beobachter befinde sich in der Verlängerung seiner Bahn, so wird der Schall von dem entfernteren Ende des Blitzes um 10 Secunden später ankommen, als von dem zunächst gelegenen Ende. Da demnach der Schall von den verschiedenen Stellen des Blitzes nur nach und nach zum Ohre des Beobachters gelangt, so hört er also nicht einen momentanen Knall, sondern ein, je nach der Länge des Blitzes und seiner Stellung gegen die Bahn desselben, länger oder kürzer dauerndes Rollen des Donners, welches wohl noch durch ein Echo in den Wolken verstärkt wird.

Nicht allein bei Gewitterwolken, sondern auch bei heiterem Himmel kann man mit Hülfe guter Elektroskope die Existenz einer elektrischen Spannung in der Atmosphäre nachweisen.

Ueber den Ursprung der atmosphärischen Elektricität wissen wir so gut wie nichts, obgleich über diesen Gegenstand schon gewaltig viel geschrieben worden ist. Einige meinen, daß die Elektricität der Gewitterwolken durch eine rasche Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes entstehe, daß also die Elektricität eine Folge der schnellen Bildung dichter Wolken sei.

290 **Wirkungen des Blitzes auf der Erde.** Denken wir uns, daß eine, etwa positiv elektrische Gewitterwolke hoch über dem Meere oder über einem großen See schwebe, so wird sie vertheilend wirken, die positive Elektricität im Wasser wird zurückgestoßen, die negative aber an der Oberfläche des Wassers angehäuft; diese Anhäufung kann so bedeutend sein, daß sie eine merkliche Erhebung des Wassers bewirkt, es wird sich eine große Woge, ein Wasserberg bilden können, welcher so lange bleibt, als dieser elektrische Zustand dauert, der auf dreierlei Weise endigen kann. 1) Wenn sich die Elektricität der Wolke allmälig verliert, ohne daß ein Entladungsschlag erfolgt, so wird sich auch der natürlich-elektrische Zustand des Wassers allmälig wieder herstellen. 2) Wenn ein Blitz zwischen der Gewitterwolke und einer anderen, oder zwischen der Wolke und einem entfernteren Orte der Erde überschlägt, wenn also die Wolke plötzlich entladen wird, so muß die an der Oberfläche des Wasserberges angehäufte Elektricität auch rasch wieder ab-, die bisher abgestoßene rasch wieder zuströmen, es findet eine plötzliche Ausgleichung, ein Rückschlag Statt. 3) Wenn die Gewitterwolke sich nahe genug befindet und wenn sie stark genug mit Elektricität geladen ist, so schlägt der Blitz über. Dieser directe Schlag bringt in der Regel eine bedeutendere Bewegung, ein stärkeres Aufwallen des Wassers hervor als der Rückschlag. Ein solcher Schlag findet nicht ohne mächtige mechanische Wirkung auf die ponderabelen Elemente Statt.

Betrachten wir nun die Wirkungen der Gewitterwolken auf dem Lande.

Eine allmälige Zerlegung und Wiedervereinigung der Elektricität bringt keine sichtbaren Wirkungen hervor; es scheint jedoch, daß solche Störungen des elektrischen Gleichgewichtes durch organische Wesen und namentlich durch nervenkranke Personen empfunden werden können.

Der Rückschlag ist stets weniger heftig als der directe; es giebt kein Beispiel, daß er eine Entzündung veranlaßt habe, dagegen fehlt es nicht an Beispielen, daß Menschen und Thiere durch den Rückschlag getödtet worden sind: man findet an ihnen in diesem Falle durchaus keine gebrochenen Glieder, keine Wunden und keine Brandspuren.

Die furchtbarsten Wirkungen bringt der directe Schlag hervor. Wenn der Blitz einschlägt, so bezeichnet er die Stelle, wo er den Boden trifft, durch ein oder mehrere, bald mehr, bald minder tiefe Löcher.

Alles, was sich über die Ebene erhebt, ist vorzugsweise dem Blitzschlage ausgesetzt; daher kommt es, daß so oft Thiere mitten in der Ebene erschlagen werden; unter sonst gleichen Umständen ist man jedoch auf einem nichtleitenden Boden sicherer als auf einem gutleitenden.

Bäume sind schon durch die Säfte, welche in ihnen circuliren, gute Leiter; wenn eine Gewitterwolke über ihnen hinzieht, so findet in den Bäumen eine starke Anhäufung von Elektricität Statt, und deshalb sagt man mit Recht, daß Bäume den Blitz anziehen; man darf deshalb während eines Gewitters unter Bäumen, namentlich unter einsam stehenden Bäumen, ja selbst unter einsam in der Ebene stehenden Sträuchen keinen Schutz suchen. Warnende Beispiele bietet unter anderen ein Gewitter, welches am 10. Juli 1855 zwischen 7 und 9 Uhr

Morgens die ganze badische Rheinebene und einen Theil des Schwarzwaldes überzog. Während desselben erschlug der Blitz bei Thunsel oberhalb Freiburg einen Ackerknecht sammt seinen beiden Pferden auf dem Heimwege; im Amte Durlach suchten vier Personen unter einem 40 Fuß hohen Birnbaume Schutz vor dem Regen; ein Blitzschlag, welcher den Baum traf, tödtete zwei derselben, während die beiden anderen gelähmt wurden. In der Nähe von Bruchsal endlich schlug der Blitz in eine Torfhütte, in welche sich mehrere Torfgräber geflüchtet hatten, und tödtete zwei derselben.

Gebäude sind in der Regel aus Metall, Steinen und Holz zusammengesetzt. Wegen der ungleichen Leitungsfähigkeit dieser Substanzen ist auch die Wirkung der Gewitterwolken auf dieselben sehr verschieden. Wenn der Blitz einschlägt, so trifft er vorzugsweise die besseren Leiter, mögen sie nun frei oder durch schlechtere Leiter eingehüllt sein; die vertheilende Kraft der atmosphärischen Elektricität wirkt auf den in die Wand eingeschlagenen Nagel eben so gut, wie auf die frei in die Luft ragende Windfahne.

Die mechanischen Wirkungen des Blitzes sind in der Regel sehr heftig. Wenn der Blitz in ein Zimmer einschlägt, so werden die Möbeln umgestürzt und zertrümmert, Metallstücke werden aus der Wand gerissen und fortgeschleudert. Bäume werden vom Blitz gespalten und zersplittert, gewöhnlich aber kann man vom Gipfel bis zum Boden eine mehrere Centimeter breite und tiefe Furche verfolgen, die abgeschälte Rinde und die ausgerissenen Späne findet man weit weggeschleudert, und am Fuße des Baumes sieht man oft ein Loch, durch welches das elektrische Fluidum sich in den Boden verbreitete.

Die physikalischen Wirkungen des Blitzes beweisen eine mehr oder minder bedeutende Temperaturerhöhung. Wenn der Blitz ein Strohdach, trockenes Holz, ja grüne Bäume trifft, so findet eine Verkohlung, meistens sogar eine Entzündung Statt; bei Bäumen findet man jedoch seltener Spuren von Verkohlung. Metalle werden durch den Blitz stark erhitzt, geschmolzen oder verflüchtigt. Wiederholte Blitzschläge bringen auf hohen Bergen sichtbare Spuren von Schmelzung an den Felsen hervor.

Die Blitzableiter bestehen aus einer zugespitzten Metallstange, welche 291
in die Luft hineinragt, und einem guten Leiter, welcher die Stange mit dem Boden verbindet. Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein, wenn sie ihrem Zweck entsprechen sollen:

1) Die Stange muß in eine sehr feine Spitze zulaufen.

2) Die Verbindung mit dem Boden muß vollkommen leitend sein, von der Spitze bis zum unteren Ende der Leitung darf keine Unterbrechung stattfinden.

3) Alle Theile des Apparates müssen die gehörigen Dimensionen haben.

Wenn eine Gewitterwolke über dem Blitzableiter schwebt, so werden die verbundenen Elektricitäten des Stabes und der Leitung zerlegt, diejenige Elektricität wird abgestoßen, welche mit der der Wolke gleichnamig ist, und sie kann sich frei im Boden verbreiten; die entgegengesetzte Elektricität aber wird

nach der Spitze gezogen, wo sie frei in die Luft ausströmen kann. Auf diese Weise ist keine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter möglich. Während so der Blitzableiter in Thätigkeit ist, während ihn die entgegengesetzten Elektricitäten in entgegengesetzter Richtung durchströmen, kann man sich ihm ohne Gefahr nähern, man kann ihn ohne Gefahr berühren; denn wo keine elektrische Spannung vorhanden ist, ist auch kein Schlag zu befürchten.

Nehmen wir nun an, eine der drei zuerst genannten Bedingungen sei nicht erfüllt, die Spitze sei stumpf, die Leitung zum Boden sei unvollkommen oder unterbrochen, so ist klar, daß eine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter nicht allein möglich, sondern auch, daß sie unvermeidlich ist; er bildet dann einen geladenen Conductor, in welchem eine ungeheure Menge von Elektricität angehäuft sein kann; man kann bald schwächere, bald stärkere Funken aus ihm ziehen.

Wenn nur die Spitze stumpf ist, so kann der Blitz einschlagen, allein er wird der Leitung folgen, ohne das Gebäude zu zerstören.

Wenn die Leitung unterbrochen oder die Verbindung mit dem Boden unvollkommen ist, so kann der Blitz ebenfalls einschlagen, er wird sich aber auch seitwärts auf andere Leiter verbreiten und eben solche Zerstörungen anrichten, als ob gar kein Blitzableiter vorhanden wäre.

Fig. 613.



$\frac{1}{8}$

Noch mehr: ein Blitzableiter, welcher diesen Fehler hat, ist sehr gefährlich, selbst wenn der Blitz nicht einschlägt; denn wenn an irgend einer Stelle der Leitung die Elektricität hinlänglich angehäuft ist, so kann ein Funken seitwärts überschlagen, welcher irgend Gegenstände zertrümmern oder entzünden kann. Man kann dafür ein trauriges Beispiel anführen. Richmann, Professor der Physik in Petersburg, wurde von einem Funken plötzlich getödtet, welcher dem Blitzableiter entfuhr, der in sein Haus heruntergeleitet war und dessen Leitung er unterbrochen hatte, um die Elektricität der Wolken zu untersuchen. Sokolow, Kupferstecher der Akademie, sah, wie der Funken Richmann auf die Stirn traf.

Fig. 613 stellt die Spitze eines Blitzableiters dar, wie sie nach Gay-Lussac's Vorschrift in Frankreich meistens ausgeführt worden. Auf einer ungefähr 20 bis 24 Fuß hohen Eisenstange ist ein 2 Fuß langer, etwas conischer Messingstab aufgeschraubt, in welchen oben mittelst Silber eine ungefähr $1^1/_2$ Zoll lange Platinnadel eingelöthet ist.

In Deutschland ist die eiserne Stange selbst zugespitzt, die Spitze ist aber vergoldet, damit sie nicht durch Oxydation abgestumpft werde.

Die oben zugespitzte Saugstange des Blitzableiters muß über der höchsten Stelle des zu schützenden Gebäudes aufgerichtet werden. Mit dem Boden wird sie durch eiserne Stangen oder

durch hinlänglich dicken Kupferdraht (am zweckmäßigsten ist es, zwei oder drei 1 Linie dicke Kupferdrähte zu einem Drahtseile zu vereinigen) in leitende Verbindung gesetzt.

Es ist wesentlich, daß diese Ableitung möglichst vollständig sei. Wenn irgend ein Brunnen in der Nähe ist, so wird die metallische Leitung bis in das Wasser desselben geführt; wenn aber kein Wasser in der Nähe ist, so sollte die Leitstange wenigstens durch einen langen, mit Kohlenpulver gefüllten Canal zu einer möglichst feuchten Stelle des Bodens geführt werden.

Wie sehr der Blitzschlag guten Leitungen folgt, hatte man z. B. bei einem heftigen Gewitter am 9. Juni 1849 zu Basel zu beobachten Gelegenheit. Der Blitz schlug in den Blitzableiter eines Wohnhauses, verfolgte die Leitung desselben bis in den Boden, sprang aber alsdann auf eine nahe liegende gußeiserne Röhrenleitung über; auf mehr als 1/4 Stunde Weges wurden alle gußeisernen mit Pech in einander gefügten Röhrenstücke zerschmettert, so daß natürlich alle durch diese Leitung gespeiste Brunnen plötzlich zu laufen aufhörten.

Die Elektricität, welche in reichlichem Maße durch die Spitze ausströmt, wird durch die Gewitterwolke angezogen und neutralisirt einen Theil der ursprünglichen Elektricität dieser Wolke. Wenn also eine Gewitterwolke dem Blitzableiter nahe genug ist, um vertheilend wirken zu können, so wird auch sogleich ihre elektrische Kraft durch das Zuströmen der entgegengesetzten Elektricität aus der Spitze geschwächt. Je mehr sich die Wolke nähert, desto stärker wirkt ihre vertheilende Kraft, desto mehr wird sie aber auch durch das Zuströmen der entgegengesetzten Elektricität neutralisirt.

Die Wirksamkeit des Blitzableiters ist jedoch noch an einige andere Bedingungen geknüpft. Wenn er von anderen in der Nähe befindlichen Gegenständen überragt wird, so kann die Elektricität der Wolke auf diese stärker wirken als auf den Blitzableiter, es ist also ein Schlag möglich; ebenso wenn bedeutende Metallmassen, etwa eiserne Stangen oder eine metallische Dachbedeckung, sich in der Nähe des Blitzableiters befinden. In dem letzteren Falle muß man diese Metallmassen möglichst gut in leitende Verbindung mit dem Blitzableiter bringen, damit die angezogene Elektricität ungehindert durch die Spitze ausströmen kann. Es ist demnach gefährlich, die metallene Dachbedeckung von dem Blitzableiter zu isoliren, wie dies einige Praktiker vorgeschlagen haben. Glücklicher Weise sind die Mittel, welche sie zur Isolirung angewandt haben, nicht ausreichend, um ihren Zweck zu erfüllen, und so haben sie nur etwas Unnützes gemacht.

Die Erfahrung zeigt, daß ein mit allen Vorsichtsmaßregeln angelegter Blitzableiter von den angegebenen Dimensionen einen Umkreis von ungefähr 80 Fuß Radius schützt.

Da es von der größten Wichtigkeit ist, daß die metallische Leitung von der Spitze des Ableiters bis zum Boden ununterbrochen sei, so ist es wünschenswerth, sich davon überzeugen zu können, daß die Leitung nicht unterbrochen sei. In neuerer Zeit hat man dazu den galvanischen Strom angewandt. Führt man nämlich von dem einen Pole einer galvanischen Kette einen Kupfer-

draht zum oberen, vom anderen Pole einen solchen zum unteren Ende des Blitzableiters, so ist derselbe in den Schließungsbogen der Kette eingeschaltet. Ein an passender Stelle in diesen Schließungsbogen eingeschaltetes Galvanometer muß unter diesen Umständen den Strom anzeigen, wenn die Leitung nicht unbrochen ist.

292 **Geographische Verbreitung der Gewitter.** In der heißen Zone sind die Gewitter sehr häufig, namentlich zu Anfange und zu Ende der nassen Jahreszeit; in der Region der Calmen aber findet fast täglich ein Gewitter Statt; sie sind dort ungleich heftiger als in unseren Gegenden. In höheren Breiten werden die Gewitter seltener; im westlichen Europa und in Deutschland kommen ungefähr 20 Gewitter auf das Jahr, in Petersburg und Moskau 17, in Stockholm 9, in Bergen 6; in noch nördlicheren Gegenden sind sie noch seltener, so daß oft mehrere Jahre vergehen, ohne daß man einmal donnern hört.

Im westlichen Europa fällt ungefähr die Hälfte aller im Laufe eines Jahres stattfindenden Gewitter auf den Sommer, auf den Winter ungefähr $^1/_{10}$. In Deutschland und der Schweiz sind die Gewitter im Sommer noch zahlreicher, Wintergewitter aber sind hier eine Seltenheit; noch weiter im Inneren von Europa giebt es gar keine Wintergewitter mehr. Auf der Westküste von Norwegen, in Bergen, wo im Laufe eines Jahres im Durchschnitt 6 Gewitter stattfinden, kommen dagegen ungefähr 2 bis 3 Gewitter auf den Winter und nur 1 bis 2 auf den Sommer. Auch auf der Westküste von Nordamerika und den Ostküsten des adriatischen Meeres sind die Wintergewitter vorherrschend.

293 **Die magnetischen Curven.** Wie wir bereits gesehen haben, ist die magnetische Wirkung der Erde an irgend einem Orte ihrer Oberfläche durch Declination, Inclination und Intensität charakterisirt. Wie diese magnetischen Constanten bestimmt werden, ist bereits im ersten Capitel des vierten Buches auseinandergesetzt worden. — Mit rastlosem Eifer haben nun gelehrte Reisende in allen Welttheilen und in den verschiedensten Gegenden der Meere diese magnetischen Constanten zu bestimmen gesucht; die Resultate ihrer Beobachtungen hat man auf den Erdkarten durch drei verschiedene Systeme von Curven zusammengefaßt, welche man die isogonischen, die isoclinischen und die isodynamischen nennt.

Die Fig. 614 stellt den Verlauf der isogonischen Linien, d. h. der Linien gleicher magnetischer Declination zwischen dem 80. Grade nördlicher und dem 60. Grade südlicher Breite für das Jahr 1835 dar. Die ausgezogenen Curven entsprechen westlicher, die punktirten entsprechen östlicher Declination. Die Größe der Declination ist jeder Curve beigeschrieben. So läuft z. B. eine Linie ohne magnetische Abweichung durch das Uralgebirge, das caspische Meer und den persischen Meerbusen nach Neuholland; eine Linie von 20° westlicher Declination läuft von Spitzbergen über Norwegen

und Dänemark, in der Nähe von Tunis vorbei durch Afrika hindurch nach Madagascar.

Den Verlauf der isogonischen Linien in der Nähe der Erdpole kann man aus den Karten Fig. 615 und Fig. 616 ersehen.

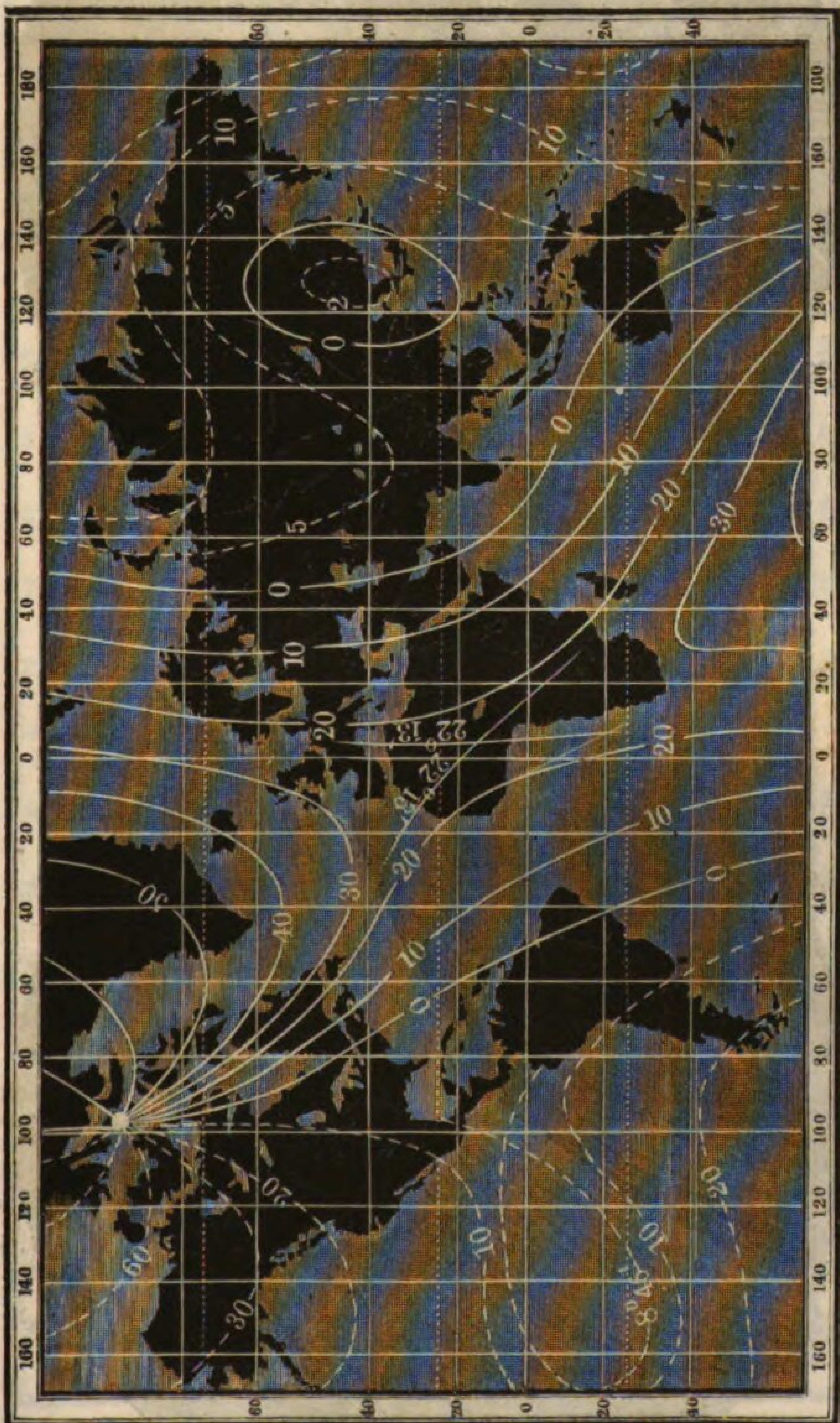


Fig. 614.

Die Fig. 617, 618 und 619 stellen den Verlauf der isoclinischen Linien, d. h. der Linien gleicher Inclination (ebenfalls für 1835) dar.

Fig. 615.

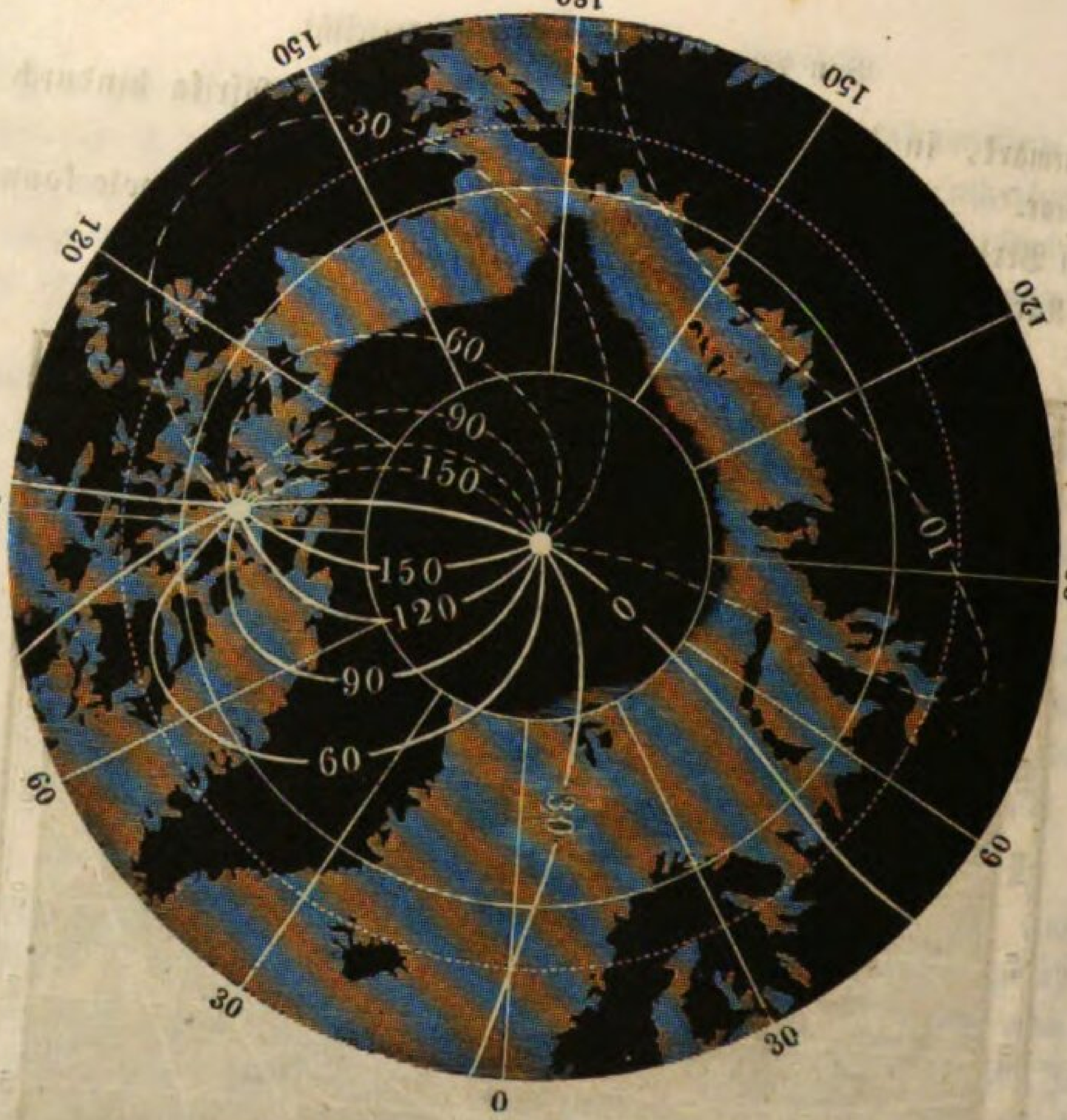
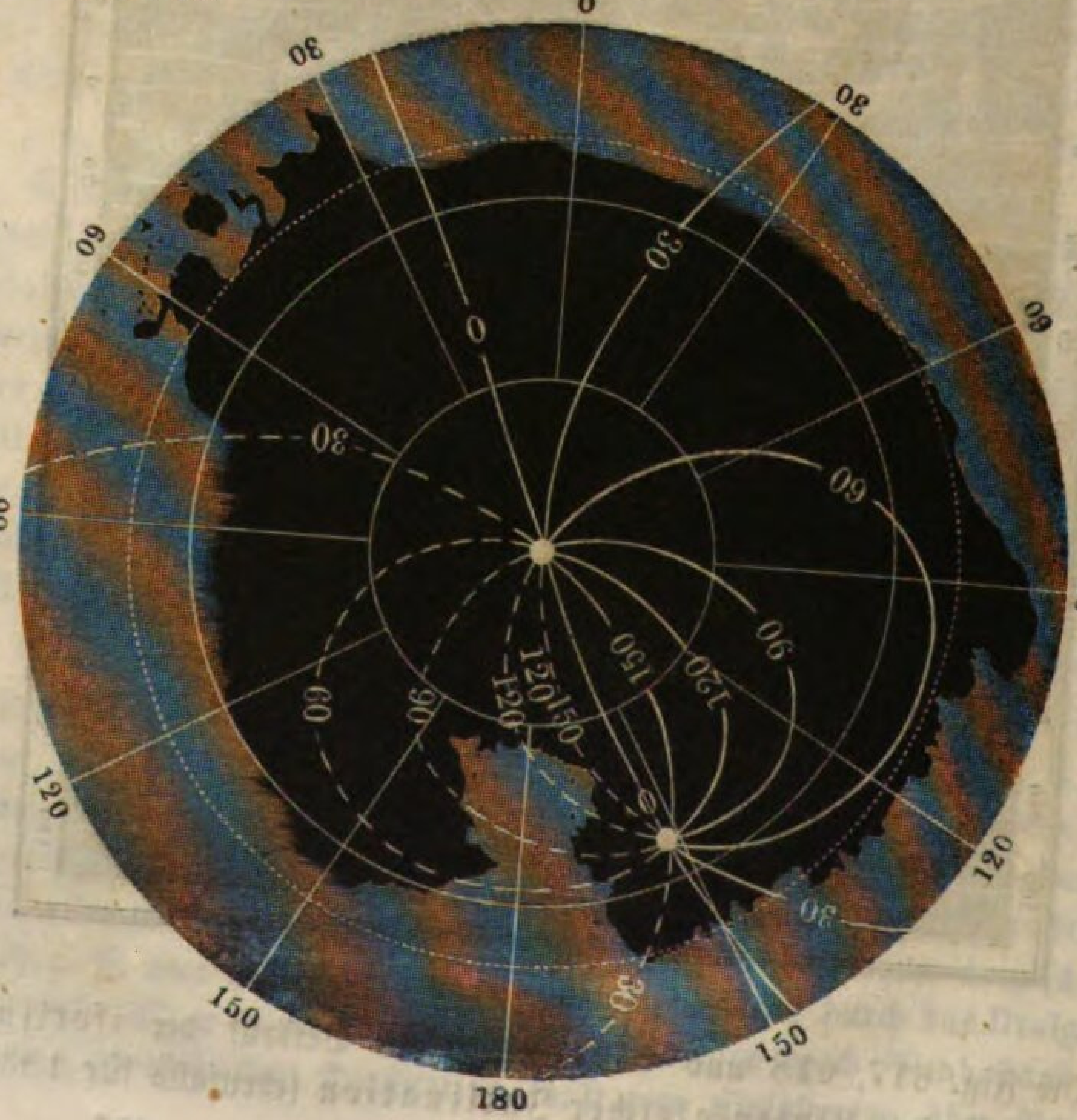


Fig. 616.



Der magnetische Aequator ist etwas stärker gezogen und mit 0 bezeichnet. Nördlich von demselben senkt sich das Nordende, südlich von demselben senkt sich das Südende der Magnetnadel. Die Größe der Inclination ist jeder Curve beigeschrieben.

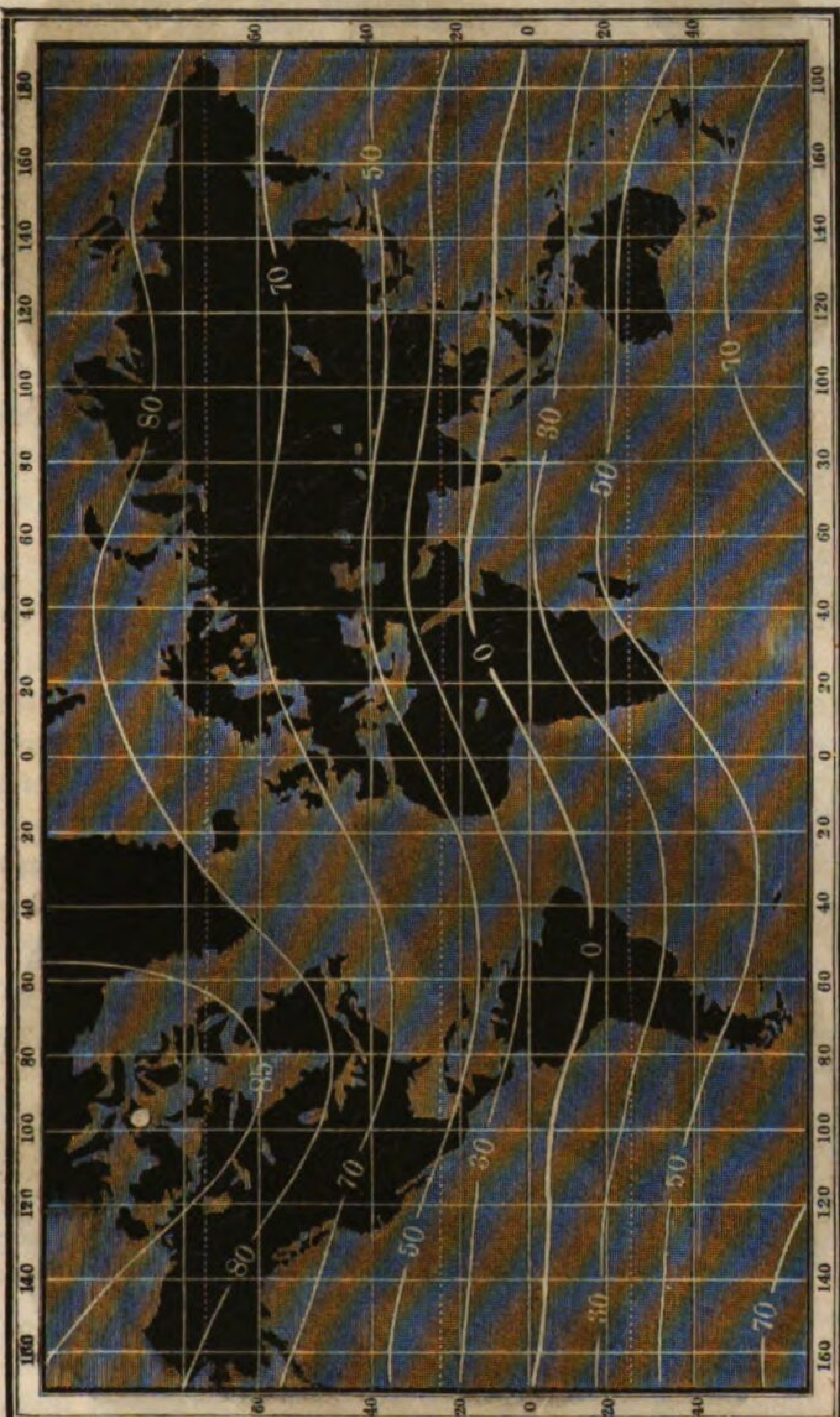


Fig. 617.

Die magnetischen Pole der Erde sind diejenigen Punkte der Erdoberfläche, für welche sich die Inclinationsnadel vertical stellt, wo also die Inclination 90° beträgt und der horizontale Antheil der magnetischen Erdkraft ganz ver-

Fig. 618.

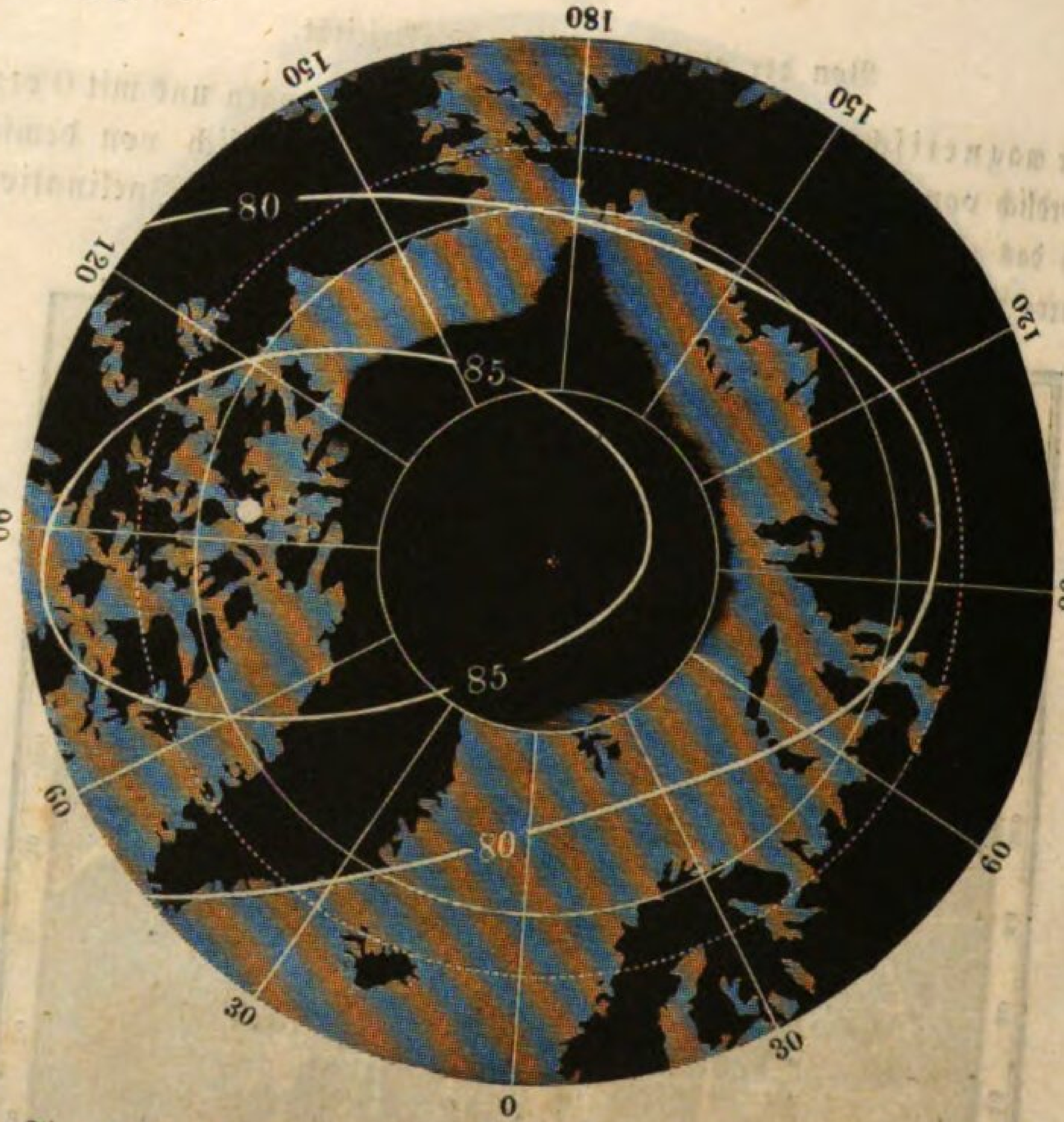
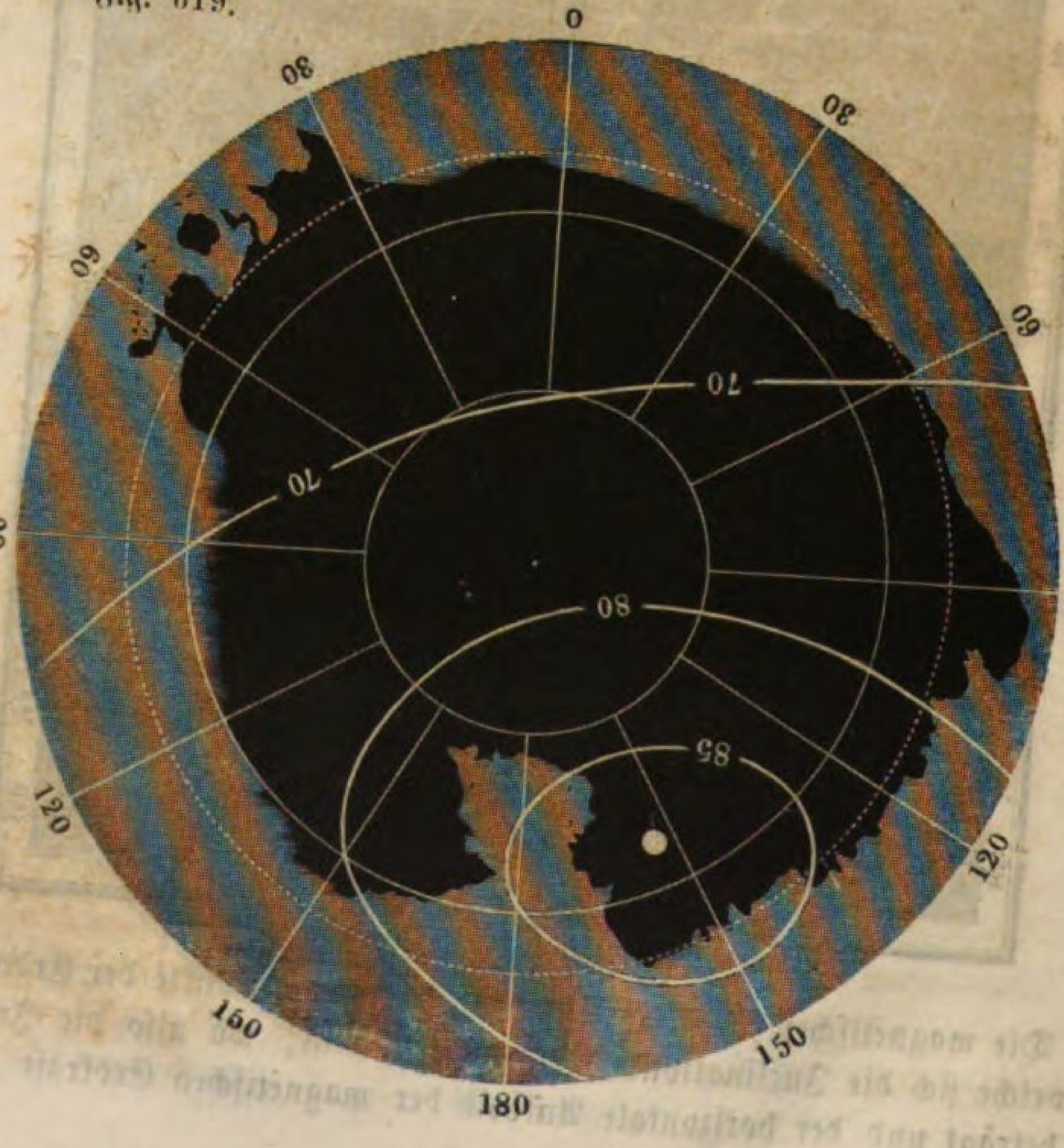


Fig. 619.



schwindet. — Solcher magnetischer Pole giebt es zwei auf der Erdoberfläche. Den magnetischen Nordpol findet man auf den Karten Fig. 614, 615, 617 und 618. Er liegt auf der Insel Boothia Felix, wo ihn Capitain Roß wirklich erreichte. Die Lage des südlichen magnetischen Pols, bis zu welchem bis jetzt noch kein Beobachter vorgedrungen ist, konnte natürlich nur aus dem Verlaufe der magnetischen Curven auf der Südhemisphäre der Erde erschlossen werden. Man findet ihn auf den Karten Fig. 616 und 619.

In den magnetischen Polen müssen auch alle isogonischen Linien zusammenlaufen, wie man Fig. 614, 615 und 616 sieht.

Wäre der Erdmagnetismus regelmäßig vertheilt, so müßte der magnetische Aequator einen größten Kreis bilden, ähnlich wie die Ekliptik am Himmelsgewölbe. Aus Fig. 617 erkennt man den unregelmäßigen Verlauf des magnetischen Aequators und aus der Vergleichung der Fig. 618 und Fig. 619 ergiebt sich, daß die magnetischen Pole keineswegs einander diametral gegenüber stehen.

In Betreff der isodynamischen Linien müssen wir auf die kosmische Physik verweisen.

Die Variationen der magnetischen Constanten. Wir haben 294
bereits auf Seite 34 des zweiten Bandes die Variationen der Declination und Inclination kennen gelernt und demnach ist klar, daß eine Declinations- oder Inclinationskarte nicht für immer, sondern nur für eine bestimmte Zeit gelten kann. Die erste Declinationskarte construirte Halley im Jahre 1700. Auf dieser Karte haben die isogonischen Linien in der That einen ganz anderen Verlauf als auf der für 1835 construirten Declinationskarte auf Seite 771, so wie denn auch diese Karte schon den gegenwärtigen Zustand nicht mehr repräsentirt.

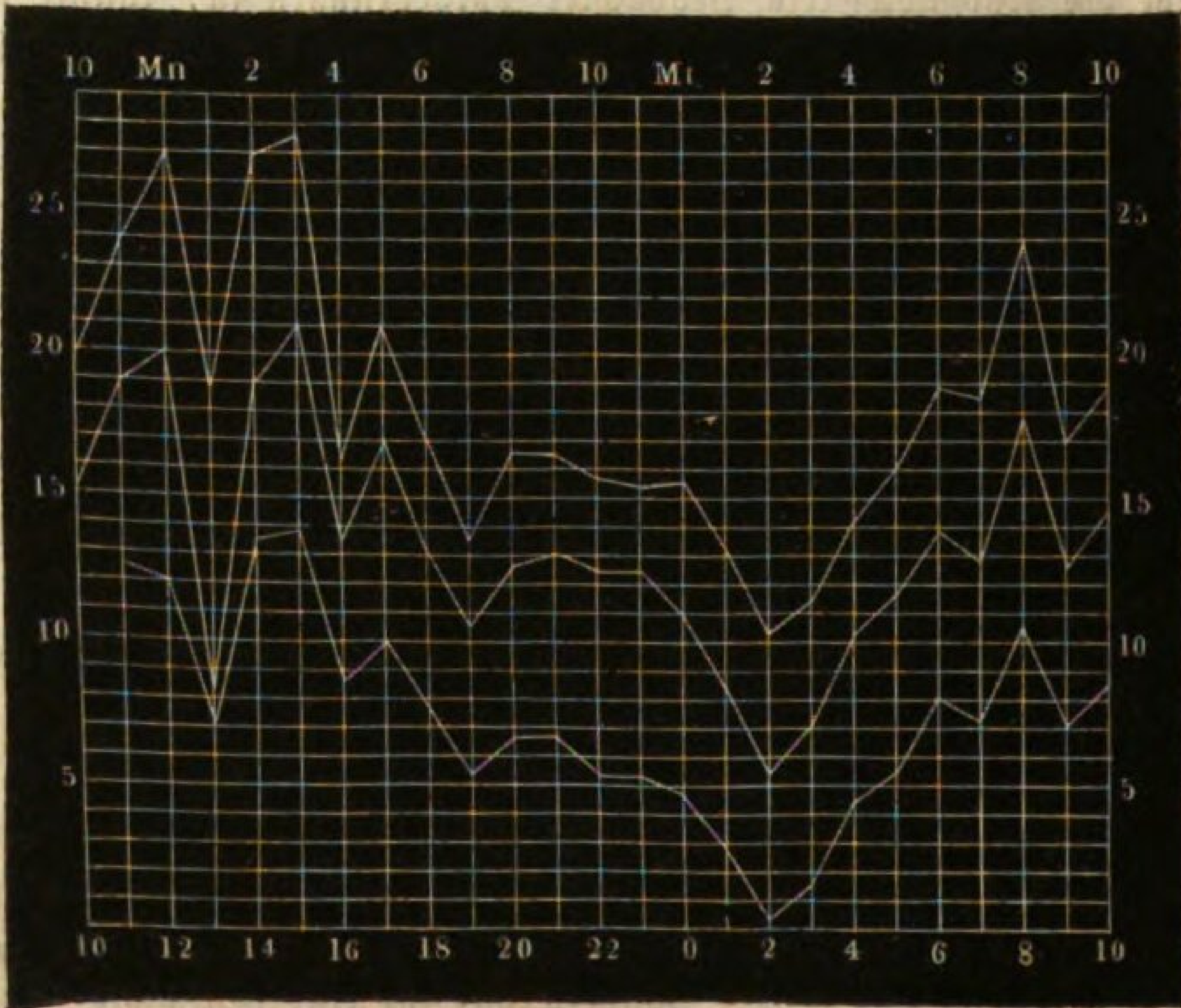
In Folge der säcularen Variationen des Erdmagnetismus sind auch die magnetischen Erdpole keine festen Punkte, sondern sie ändern allmälig ihre Stelle, und ebenso veränderlich ist Lage und Gestalt des magnetischen Aequators.

Die magnetischen Störungen, deren schon auf Seite 36 Erwäh- 295
nung gethan wurde, treten in der Regel nicht local auf, sondern sie sind in gleichem Sinne über größere Strecken verbreitet und zwar vorzugsweise in der Art, daß an Orten, welche ungefähr gleiche geographische Länge haben, die magnetischen Störungen gleichzeitig und in gleichem Sinne auftreten, wie dies durch die zahlreichen an vorausbestimmten Terminen an weit von einander entfernten Orten angestellten magnetischen Beobachtungen dargethan ist.

So stellt z. B. Fig. 620 (a. f. S.) die gleichzeitigen Schwankungen der horizontalen Magnetnadel zu Upsala, Göttingen und Mailand dar, wie sie 1841 vom 26. Februar Abends 10 Uhr bis zum 27. Februar Abends 10 Uhr beobachtet wurden, und zwar sind die von Stunde zu Stunde angestellten Beobachtungen aufgetragen.

Ein Steigen der Curve in unserer Figur bedeutet eine Bewegung des Nordendes der Nadel nach Osten, und zwar entspricht der Höhenabstand zweier auf einander folgender Horizontallinien einer Winkeldifferenz von 1 Minute.

Fig. 620.



Die Störungen treten im Allgemeinen um so weniger stark auf, je mehr man sich dem magnetischen Aequator nähert. Südlich vom magnetischen Aequator sind die Störungen der Declinationsnadel der Richtung nach denen entgegengesetzt, welche gleichzeitig bei nahe gleicher geographischer Länge nördlich vom magnetischen Aequator beobachtet werden.

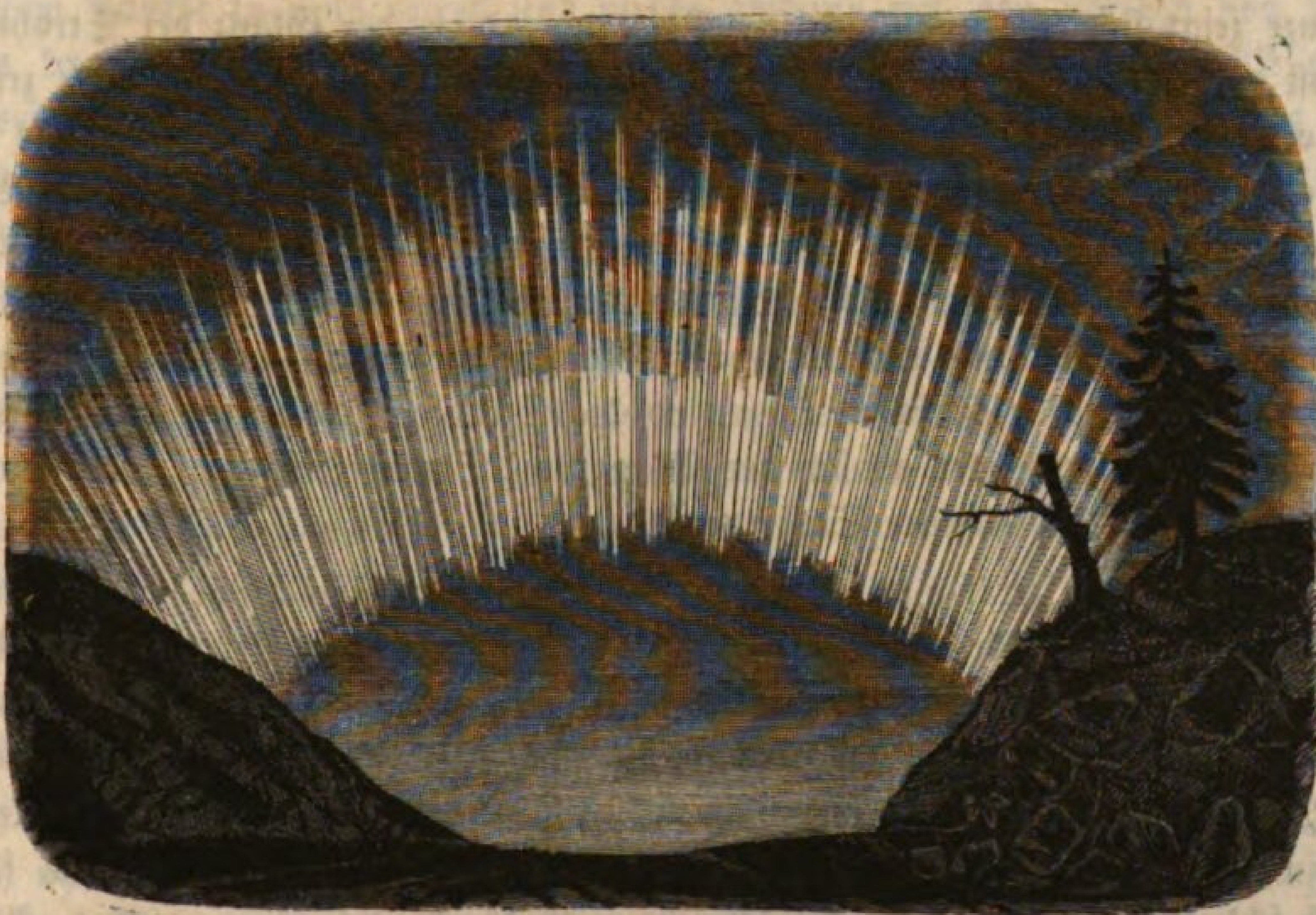
Für verschiedene Orte, welche nahezu gleiche geographische Breite, aber verschiedene Länge haben, zeigt sich gleichfalls ein Zusammenhang in den Störungen, aber in anderer Weise. Wenn zu irgend einer Zeit an einem bestimmten Orte eine besonders starke Störungsschwankung stattfindet, so wird sie an östlicheren und westlicheren Orten in gleicher Richtung, aber mit abnehmender Stärke auftreten; 90° östlich und 90° westlich von dem Orte, wo die Schwankung im Maximum auftritt, wird in demselben Moment gar keine oder doch nur eine unbedeutende Schwankung beobachtet, auf der anderen Hälfte des Parallelkreises aber haben die gleichzeitigen Störungsschwankungen eine entgegengesetzte Richtung und zwar zeigt sich ein östliches Maximum 180° von dem Orte entfernt, wo gerade das westliche Maximum auftritt.

296 **Das Nordlicht** gehört unstreitig zu den prächtigsten, aber auch zu den räthselhaftesten Erscheinungen; es wird hier, wie dies gewöhnlich geschieht, im Capitel vom Erdmagnetismus abgehandelt, weil es mit demselben in einer gewissen Beziehung zu stehen scheint, indem das Phänomen stets in der Rich-

tung des magnetischen Meridians beobachtet wird und sein Erscheinen in der Regel bedeutende Oscillationen der Declinationsnadel veranlaßt.

In unseren Gegenden ist die Erscheinung des Nordlichtes ziemlich selten; sehr schöne Nordlichter wurden in Deutschland unter anderem am 7. Januar 1831 und im Februar 1836 beobachtet. Fig. 621 soll das Nordlicht darstellen, wie es gewöhnlich bei uns gesehen wird; es ist jedoch zu bemerken, daß es schwierig ist, durch Beschreibung und Abbildung eine recht klare Vorstellung davon zu geben.

Fig. 621.



In höheren Breiten, in den nördlichen Theilen von Europa, Asien und Amerika sind die Nordlichter weit häufiger und ungleich prächtiger als bei uns.

Möge es erlaubt sein, hier die Beschreibung eines Nordlichtes folgen zu lassen, wie es Lottin beobachtete. Das meteorologische Observatorium, auf welchem Lottin 8 Monate, vom September 1838 bis zum April 1839, zubrachte, war zu Bossekop auf der Küste von West-Finnmark unter dem 70. Grade nördlicher Breite aufgeschlagen worden. In 206 Tagen beobachtete man daselbst 143 Nordlichter, und zwar 64 während der längsten Nacht, welche in jenen Gegenden vom 17. November bis zum 25. Januar dauert.

»Des Abends zwischen 4 und 8 Uhr färbt sich der obere Theil des leichten Nebels, welcher fast beständig nach Norden hin in einer Höhe von 4 bis 6° herrscht; dieser lichte Streifen nimmt allmälig die Gestalt eines Bogens von blaßgelber Farbe an, dessen Ränder verwaschen erscheinen und dessen Enden sich auf die Erde aufstützen.

»Dieser Bogen steigt allmälig in die Höhe, während sein Gipfel stets nahe in der Richtung des magnetischen Meridians bleibt.

»Bald erscheinen schwärzliche Streifen, welche den lichten Bogen trennen, und so bilden sich Strahlen, welche sich bald rasch, bald langsam verlängern oder verkürzen. Der untere Theil dieser Strahlen zeigt immer den lebhaftesten Glanz und bildet einen mehr oder weniger regelmäßigen Bogen. Die Länge der Strahlen ist sehr verschieden, sie convergiren aber nach einem Punkte des Himmels, welcher durch die Richtung des Südendes der Inclinationsnadel angedeutet ist. Manchmal verlängern sich die Strahlen bis zu diesem Punkte und bilden so ein Bruchstück eines ungeheuren Lichtgewölbes.

»Der Bogen fährt fort, gegen das Zenith hin zu steigen; in seinem Glanze zeigt sich eine undulatorische Bewegung, d. h. der Glanz der Strahlen wächst der Reihe nach von einem Fuße zum anderen; diese Art Lichtstrom zeigt sich oft mehrmals hinter einander, aber häufiger von Westen nach Osten als in entgegengesetzter Richtung. Manchmal, aber selten, folgt die rückgängige Bewegung unmittelbar auf die erste, und wenn der Glanz der Reihe nach alle Strahlen von Westen nach Osten durchlaufen hat, nimmt seine Bewegung eine entgegengesetzte Richtung an und kehrt zu seinem Ausgangspunkte zurück, ohne daß man eigentlich recht sagen kann, ob die Strahlen selbst eine horizontale Verrückung erleiden, oder ob sich der Glanz von Strahl zu Strahl fortpflanzt, ohne daß die Strahlen ihre Stelle verändern.

»Der Bogen zeigt auch in horizontaler Richtung eine Bewegung, welche den Undulationen oder Biegungen eines vom Winde bewegten Bandes oder einer Fahne nicht unähnlich ist. Manchmal verläßt einer der Füße oder selbst beide den Horizont; dann werden diese Biegungen zahlreicher und deutlicher; der Bogen erscheint nur als ein langes Strahlenband, welches sich entwickelt, sich in mehrere Theile trennt und graziöse Windungen bildet, welche sich fast selbst schließen und das bilden, was man wohl die Krone genannt hat. Alsdann ändert sich plötzlich die Lichtintensität der Strahlen, sie übertrifft die der Sterne erster Größe; die Strahlen schießen mit Schnelligkeit, die Biegungen bilden und entwickeln sich, wie die Windungen einer Schlange; nun färben sich die Strahlen, die Basis ist roth, die Mitte grün, der übrige Theil behält ein blaßgelbes Licht. Diese Farben behalten immer ihre gegenseitige Lage und haben eine bewundernswürdige Durchsichtigkeit. Das Roth nähert sich einem hellen Blutroth, das Grün einem blassen Smaragdgrün. —

»Der Glanz nimmt ab, die Farben verschwinden, die ganze Erscheinung erlischt entweder plötzlich, oder sie wird nach und nach schwächer. Einzelne Stücke des Bogens erscheinen wieder, er bildet sich von Neuem, er setzt seine aufsteigende Bewegung fort und nähert sich dem Zenith; die Strahlen erscheinen durch die Perspective immer kürzer, alsdann erreicht der Gipfel des Bogens das magnetische Zenith, einen Punkt, nach welchem die Südspitze der Inclinationsnadel hinweist. Nun sieht man die Strahlen von ihrem Fuße aus. Wenn sie sich in diesem Augenblicke färben, so zeigen sie ein breites rothes Band, durch welches hindurch man die grüne Färbung der oberen Theile erblickt. — — —

»Unterdessen bilden sich neue Bogen am Horizonte, welche entweder anfangs verschwommen erscheinen, oder durch lebhafte Strahlen gebildet sind. Sie folgen einander, indem alle fast dieselben Phasen durchlaufen und in bestimmten Zwischenräumen von einander bleiben; man hat deren bis zu 9 gezählt, welche, auf die Erde gestützt, durch ihre Anordnung an die oberen Coulissen unserer Theater erinnern, die, auf die Seitencoulissen gestützt, den Himmel der Theaterscene bilden. Manchmal werden die Zwischenräume kleiner, mehrere dieser Bogen drängen einander. — So oft die Strahlen am hohen Himmel das magnetische Zenith überschritten haben, scheinen sie von Süden her nach diesem Punkte zu convergiren und bilden alsdann mit den übrigen von Norden kommenden die eigentliche Krone. Die Erscheinung der Krone ist ohne Zweifel nur eine Wirkung der Perspective, und ein Beobachter, welcher in diesem Augenblicke weiter nach Süden hin sich befindet, wird sicherlich nur einen Bogen sehen können. —

»Denkt man sich nun ein lebhaftes Schießen von Strahlen, welche beständig sowohl in Beziehung auf ihre Länge, als auf ihren Gang sich ändern; daß sie die herrlichsten rothen und grünen Farbentöne zeigen, daß eine wellenartige Bewegung stattfindet, daß Lichtströme einander folgen und endlich daß das ganze Himmelsgewölbe eine ungeheure prächtige Lichtkuppel zu sein scheint, welche über einen mit Schnee bedeckten Boden ausgebreitet ist und einen blendenden Rahmen für das ruhige Meer bildet, welches dunkel ist wie ein Asphaltsee, so hat man eine unvollständige Vorstellung von diesem wunderbaren Schauspiele, auf dessen Beschreibung man verzichten muß.

»Die Krone dauert nur einige Minuten; sie bildet sich manchmal plötzlich, ohne daß man vorher einen Bogen wahrnahm. Selten sieht man zwei in einer Nacht, und viele Nordlichter zeigen keine Spur davon.

»Die Krone wird schwächer, das ganze Phänomen ist nun südlich vom Zenith, immer blassere Bogen bildend, welche in der Regel verschwinden, ehe sie den südlichen Horizont erreichen. Gewöhnlich beobachtet man dies Alles nur in der ersten Hälfte der Nacht; nachher scheint das Nordlicht seine Intensität verloren zu haben, die Strahlen scheinen verwaschen, sie bilden schwache, unbestimmt begränzte Lichtschimmer, welche endlich, kleinen Cumulus ähnlich, auf dem Himmel gruppirt sind. — Allmälig erscheint die Morgenröthe, die Erscheinung wird immer schwächer und endlich ganz unsichtbar.

»Manchmal sieht man die Strahlen noch, wenn der Tag schon angebrochen, wenn es schon so hell ist, daß man lesen kann; dann aber verschwinden sie schnell, oder sie werden vielmehr um so unbestimmter, je mehr die Helligkeit zunimmt, sie nehmen eine weißliche Farbe an und vermischen sich so mit den Cirrostratus, daß man sie nicht mehr von diesen Wolken unterscheiden kann.«

Dies ist die Erscheinung des Nordlichtes, wenn es sich in seiner ganzen Pracht entwickelt; aber, mag nun der Zustand der Atmosphäre oder mögen die Umstände, welche die Erscheinung veranlassen, nicht immer ganz günstig

sein, ein vollständiges Nordlicht wird selbst in den Polargegenden nur selten beobachtet. Bald ist die Krone, bald sind die Bogen unvollständig; oft wird das Licht durch Wolken aufgefangen, welche auf mannigfache Weise die regelmäßige Gestalt des Nordlichtes modificiren. Man bemerkt alsdann nach Norden hin nur ein ungewöhnliches Licht; allein es ist verschwommen, die Erscheinung ist undeutlich.

Aehnliche Erscheinungen sind von Seefahrern auch in den Polargegenden der südlichen Hemisphäre beobachtet worden. Man kann sie Südlichter nennen.

Alphabetisches Inhaltsverzeichniß.

A.

E.

F.

G.

H.

Q.

R.

S.

T.

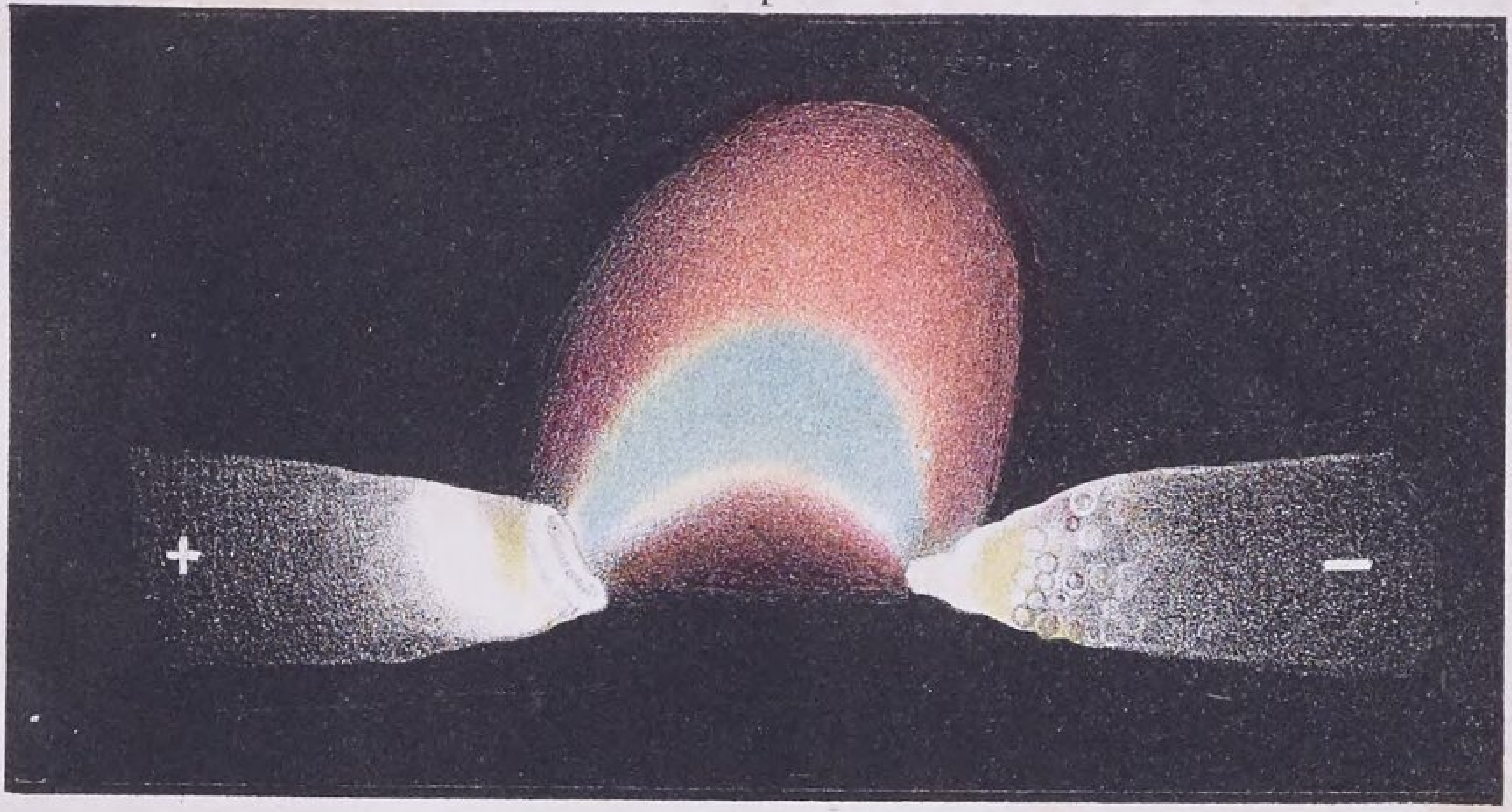
U.

V.

W.

Z.

1



2

